الاتحاد العربي للمكتبات والمعلومات

المعيار العربي الموحد
للمكتبات الخضراء

المؤلفون

د.فاتن فتحي حمد
د.نبهان بن حارث الحراصي
أ.أسماء بنت علي السلامي
أ.أسماء بنت مبارك بني عرابة

المراجعة العلمية

أ.د.هاشم فرحات سيد الهنداوي

المعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء

د.فاتن حمد

رئيسة قسم دراسات المعلومات وأستاذ مشارك في جامعة السلطان قابوس بسلطنة عُمان والجامعة الأردنية.حصلت على درجة الدكتوراه من جامعة أبريستويث في المملكة المتحدة، وتمتد مسيرتها الأكاديمية لأكثر من عقدين، جمعت خلالها بين البحث العلمي والتدريس والقيادة الأكاديمية في مجالات علم المكتبات والمعلومات، والتحول الرقمي والذكاء الاصطناعي، وعلوم الحاسوب، والمعلوماتية الصحية.

أ. أسماء علي السلامي

موظفة بجامعة السلطان قابوس في المكتبة الرئيسية - قسم مصادر المعلومات الإلكترونية،وحاصلة على ماجستير علم المكتبات والمعلومات من قسم دراسات المعلومات بجامعة السلطان قابوس عام ٢٠٢٥.تتمتع بخبرة واسعة في مجال إدارة المعلومات، والتحليل البياني، وتمثيل البيانات، والتسويق الرقمي.شاركت في عدد من المؤتمرات المحلية والدولية.

د. نبهان الحراصي

أستاذ دراسات المعلومات المشارك بجامعة السلطان قابوس، والعميد السابق لكلية الآداب والعلوم الاجتماعية،ورئيس الاتحاد العربي للمكتبات والمعلومات، والرئيس السابق لجمعية المكتبات المتخصصة فرع الخليج العربي.له مساهمات بارزة في المؤتمرات الإقليمية والدولية.

أ. أسماء مبارك بني عرابة

موظفةٌ بجامعةِ السلطانِ قابوس، في موكزِ الدراساتِ العُمانية، حاصلةٌ على درجةِ الماجستيرِ في علمِ المكتباتِ والمعلوماتِ من قسمِ دراساتِ المعلوماتِ بجامعةِ السلطانِ قابوس عامَ ٢٠٢٣، وتتمتّعُ بخبرةٍ بحثيةٍ وإدارية.شاركت كباحثٍ رئيسٍ ومشاركٍ في مشاريعَ بحثيةٍ وطنيةٍ ممولة، ونشرت عددًا من الأبحاثِ المُحكّمة في مجالاتِ المعلوماتِ، والذكاءِ الاصطناعي، والهويةِ الثقافية، ونُظُمِ المعلومات. نالت جوائزَ، أبرزُها: "أفضلُ رسالةِ ماجستير" لعام ٢٠٢٤، والموظف المجيد" لعام ٢٠٢٣م.

دار ابن رشيق للنشر والتوزيع

+962 79 778 2465
Daribnrasheeq@gmail.com
Ahmadalsmadi26@gmail.com
www.ibnrashiq.com
Queen Rania Street .Amman. Jordan

"كتاب لمؤتمر الاتحاد العربي للمكتبات والمعلومات (أعلم) ٢٠٢٥ الذي تستضيفه مكتبة قطر الوطنية"

“A publication of the AFLI 2025 Conference, hosted by Qatar National Library.

عنوان الكتاب: المعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء

إعداد: د. فاتن فتحي حمد

إعداد آخرون: أسماء بنت علي السلامية/ د. نبهان بن حارث الحراصي/ أسماء بنت مبارك بني عرابة

الإيداع الدولي: 978-9923-861-28-8

التنسيق الداخلي وتصميم الغلاف: دار ابن رشيق للنشر والتوزيع

المملكة الأردنية الهاشمية

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية

(2025/9/5505)

عمان، دار ابن رشيق للنشر والتوزيع 2025.

ر،ت: 022.3

الطبعة الاولى.

الواصفات: مباني المكتبات/ تنمية المكتبات/معايير الأداء/حماية البيئة/ الخدمات المكتبية/ التنمية المستدامة/ إدارة المكتبات.

يتحمل المؤلف كامل مسؤولية محتوى مصنفه، ولا يعبر هذا المصنَّف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية أو أية جهة حكومية أخرى.

جميع الحقوق محفوظة، لا يجوز إعادة طباعة هذا الكتاب دون الرجوع للمؤلف والناشر

Ahmadalsmadi26@gmailcom

00962797782465

المعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء

المؤلفون

د. فاتن فتحي حمد

أستاذ دراسات المعلومات المشارك بجامعة السلطان قابوس
أستاذ علم المعلومات المشارك بالجامعة الأردنية

أسماء بنت علي السلامية

أمينة مكتبة بالمكتبة الرئيسية بجامعة السلطان قابوس

د. نبهان بن حارث الحراصي

أستاذ دراسات المعلومات المشارك بجامعة السلطان قابوس

أسماء بنت مبارك بني عرابة

إدارية بمركز الدراسات العُمانية - جامعة السلطان قابوس -

المراجعة العلمية

الأستاذ الدكتور هاشم فرحات سيد الهنداوي

أستاذ علم المعلومات بجامعة الملك سعود

فهرس المحتويات ٥
مقدمة ١٣
لماذا هذا الكتاب؟ ١٦
الفصل الأول: مفهوم المكتبات الخضراء وتطوّرها العالمي ١٨
تعريف المكتبات الخضراء ٢٠
المؤشرات البيئية في المكتبات الخضراء ٢٢
مبررات التحول نحو المكتبات الخضراء ٢٣
الملامح الأساسية للمكتبات الخضراء ٢٤
تجارب دولية رائدة في المكتبات الخضراء ٢٨
أولاً: التجارب العربية ٢٨
ثانيا: التجارب غير العربية ٣٣
مكتبات فائزة بجائزة IFLA الخضراء(2024) ٣٥
الأطر النظرية للمكتبات الخضراء وآليات اعتمادها ٣٥
آليات اعتماد المكتبات الخضراء ٣٨
تحديات التحول نحو المكتبات الخضراء ٣٩
التكنولوجيا الذكية والمكتبات الخضراء ٤٠
خاتمة الفصل ٤٢

الفصل الثاني: دور التكنولوجيا في تعزيز المكتبات الخضراء ٤٤
السياق البيئي العالمي ودور المؤسسات المعرفية ٤٤
المكتبات كمؤسسات فاعلة في تحقيق الاستدامة البيئية ٤٤
التكنولوجيا كقوة دافعة نحو المكتبات الخضراء ٤٥
الحلول التقنية في التهوية والإضاءة وإدارة الطاقة في المكتبات الخضراء ٤٧
أنظمة التهوية الذكية ٤٧
تقنيات الإضاءة الطبيعية والحساسات الضوئية ٤٨
أنظمة إدارة الطاقة الذكية ٤٩
الأثر البيئي والاقتصادي للحلول التقنية ٥١
الإطار الثلاثي للاستدامة في المكتبات ٥٢
التقنيات البيئية المستخدمة في المكتبات الخضراء ٥٥
الطاقة الشمسية في المكتبات: نحو مبانٍ صفرية الطاقة ٥٧
أنظمة الثرموستات الذكية وأجهزة الاستشعار البيئي ٥٨
الوظائف التقنية لأنظمة الثرموستات الذكية وأثرها في بيئة المكتبات ٥٩
تحليل بيانات الحساسات البيئية ٥٩
تنفيذ استراتيجيات التحكم التنبؤية ٦٠
التكامل الشبكي والتحكم المركزي ٦٠
التحكم الفعلي من خلال المحركات والمشغلات ٦٠

تعزيز جودة البيئة الداخلية وتقليل التكاليف ٦١
التحديات المرتبطة بتطبيق الحلول التقنية الذكية في المكتبات الخضراء ٦١
رؤية استثمارية طويلة الأمد في المكتبات الذكية والخضراء ٦٤
الذكاء الاصطناعي في المكتبات الذكية والخضراء: نحو كفاءة تشغيلية واستدامة ذكية ٦٦
الاستخدامات الوظيفية للذكاء الاصطناعي في المكتبات الذكية/الخضراء ٦٦
فوائد دمج الذكاء الاصطناعي في المكتبات ٦٨
أزمة المياه والضغط البيئي العالمي ٦٩
تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الري والإدارة في المدن الذكية ٧٠
تكامل تقنيتي البلوك تشين وإنترنت الأشياء في إدارة المياه داخل المكتبات الخضراء ٧٢
الفوائد المؤسسية للمكتبات ٧٤
التحديات المؤسسية والتقنية في تنفيذ تكامل تقنيتي البلوك تشين وإنترنت الأشياء ٧٤
الذكاء الاصطناعي في إدارة الطاقة بالمكتبات الخضراء ٧٦
إدارة النفايات الذكية ٧٨
دور الذكاء الاصطناعي في التنبؤ والصيانة الوقائية ٧٩
التحديات والاعتبارات الأخلاقية ٨٠
إطار عمل مسؤول ومتأمل للذكاء الاصطناعي في المكتبات ٨١
متطلبات التفعيل الناجح للحلول الذكية في المكتبات الخضراء ٨٣
التحديات الهيكلية في تبني المباني الذكية: منظور دورة حياة المشروع ٩٠

خاتمة الفصل	٩٣
الفصل الثالث: المعايير العالمية لتصميم وبناء المكتبات الخضراء	٩٤
شهادة ليد(LEED)	٩٤
مراحل تقييم LEED	٩٥
مجالات نظام تقييم LEED	٩٦
فوائد الحصول على شهادة LEED	٩٩
شهادة بريام(BREEAM)	٩٩
فئات تقييمBREEAM	١٠١
تصنيفاتBREEAM	١٠٣
عملية تقييم BREEAM	١٠٤
أقسام ومعايير التقييم البيئي في نظام BREEAM	١٠٥
فوائد الحصول على شهادةBREEAM	١٠٧
شهادة إيدج (EDGE)	١٠٨
أهداف نظام EDGE	١١٠
مستويات الشهادات المتاحة ضمن نظام EDGE	١١٠
مزايا نظامEDGE	١١١
خطوات الحصول على شهادةEDGE	١١٢
آلية التقييم وترجيح النتائج	١١٢

نظام DGNB نموذج شامل لتقييم الاستدامة المبنية على دورة الحياة ١١٢
المجالات والمعايير الأساسية لنظامDGNB ١١٣
التميز المنهجي لنظامDGNB ١١٦
أهمية DGNB في سياق الاستدامة ١١٧
خلاصة أنظمة الشهادات BREEAM و LEEDو DGNBوEDGE ١١٧
تحليل مقارن للأنظمة والمعايير البيئية للمباني الخضراء ١١٧
المزايا النسبية ١١٩
الفلسفة والمنهجية التقييمية ١٢٠
قابلية التطبيق والتكلفة والجدوى الاقتصادية ١٢١
البعد الاجتماعي والبيئي ١٢١
التحديات والقيود ١٢٢
الخلاصة ١٢٤
نماذج رائدة للمباني الثقافية المستدامة ١٢٤
إرشادات الاتحاد الدولي لجمعيات ومؤسسات المكتبات(IFLA) ١٣١
مبادئ المكتبات الخضراء المستدامة حسب إرشادات الإفلا (IFLA) ١٣٣
تقليل الأثر البيئي للمباني والمعدات ١٣٣
الصحة والرفاه ١٣٤
إشراك المجتمع ١٣٤

كفاءة الموارد ١٣٥
إمكانية الوصول والشمول ١٣٥
تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الخضراء(ICT) ١٣٦
تصنيف جائزة الإفلا للمكتبات الخضراء ١٣٦
فئات جائزة الإفلا للمكتبات الخضراء ١٣٨
المعايير العامة للتقييم ١٣٩
خاتمة الفصل ١٤٢
الفصل الرابع: المكتبات الخضراء في العالم العربي ١٤٢
واقع المباني الخضراء في العالم العربي ودور المكتبات ١٤٣
نماذج لمكتبات عربية متوافقة مع معايير المكتبات الخضراء ١٤٤
مكتبة محمد بن راشد العامة - دبي، الإمارات العربية المتحدة ١٤٥
مركز الملك عبدالعزيز الثقافي العالمي (إثراء) - المملكة العربية السعودية ١٤٧
مكتبة قطر الوطنية - قطر ١٤٩
بيت الحكمة - الشارقة، الإمارات العربية المتحدة ١٥١
مكتبة جوزيف ج. جبرا(JGJL) - لبنان ١٥٣
التحديات التي تواجه المكتبات العربية في تطبيق معايير المباني الخضراء والممارسات الخضراء ١٥٦
خاتمة الفصل ١٦٥
الفصل الخامس : الرؤية المستقبلية لتطوير المكتبات الخضراء ١٦٧

تطوير المكتبات الخضراء في العالم العربي. ١٦٨
فرص الابتكار والشراكات مع المؤسسات البيئية والقطاع الخاص ١٧٠
الصناعة الخضراء، مفهوم ومجال تطبيق ١٧٥
الشراكة بين القطاعين العام والخاص كدافع للابتكار الأخضر ١٧٥
أمثلة دولية للابتكار الأخضر ١٧٨
دور البحث العلمي في دعم التحول نحو الاستدامة ١٨١
البنية التحتية للبحث العلمي ودورها في دعم الاستدامة ١٨٥
تمويل البحث العلمي كأداة استراتيجية لتعزيز الاستدامة ١٨٥
العلاقة بين السياسات الوطنية والبحث العلمي ١٨٨
مؤشرات قياس أثر البحث العلمي على الاستدامة ١٨٩
أداء الدول العربية في مؤشرات الابتكار والتنمية المستدامة ١٩٠
نماذج من دول عربية في دعم البحث العلمي من أجل الاستدامة ١٩١
الفصل السادس : المعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء ١٩٣
مقدمة ١٩٣
إطار مؤسسي مقترح لتطوير وتنفيذ المعيار العربي للمكتبات الخضراء ١٩٣
الأسس الفلسفية والمنهجية للمعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء ١٩٤
التكامل بين المحلي والعالمي ١٩٤
المعايير العامة المقترحة للمكتبة الخضراء في السياق العربي ١٩٦

أدوات التقييم ومؤشرات الأداء البيئي(EPIs)	٢٠١
التقييم الذاتي للمكتبة	٢٠٤
التوصيات وآليات التطبيق لتفعيل المعيار العربي للمكتبات الخضراء	٢٠٤
التكامل مع المعايير الدولية: معيار عربي قابل للاعتراف العالمي	٢٠٨
إجراءات مقترحة للحصول على الاعتماد	٢١٣
التحديات المرتبطة بعملية الاعتماد	٢١٦
خاتمة الفصل	٢١٨
ملاحق الكتاب	٢٢٠
مراجع الكتاب	٢٣٥

مقدمة

يشهد العالم اليوم تصاعدا غير مسبوق في المخاوف المتعلقة بمستقبل كوكب الأرض، نتيجة لتفاقم ظواهر الاحتباس الحراري، والتلوث بجميع أنواعه، وتناقص الموارد الطبيعية كالأنهار والبحيرات. فقد أصبح الإنسان يواجه تهديدات جدية ناجمة عن استنزاف طبقة الأوزون، وتغير المناخ، وانحسار مساحات شاسعة من اليابسة والمسطحات المائية التي لم تعد صالحة للاستفادة منها كما كان سابقاً. هذه التهديدات البيئية تمثل انعكاساً مباشراً لما ارتكبه الإنسان من أضرار متراكمة في حق البيئة عبر عقود طويلة، وبفعل الممارسات غير المسؤولة في استنزاف الموارد. وهو ما وضع البشرية أمام خيارين لا ثالث لهما: إما الاستسلام لمصير الفناء نتيجة هذه الممارسات الضارة، أو التحرك الجاد لوضع استراتيجيات حقيقية وفعّالة لحماية الكوكب والحفاظ على موارده واستدامته لصالح الأجيال الحاضرة والمقبلة.

أمام هذا المشهد المقلق، تزايدت النداءات العالمية من الأفراد والمنظمات الدولية، مطالبة بضرورة حماية الأرض من الانبعاثات الضارة والتلوث الناتج عن النشاط الإنساني، بما يشمل مخلفات الصناعة، وبناء المدن، والاستخدام المفرط للمحروقات والطاقة غير النظيفة. هذه النداءات استندت إلى حقائق صادمة كشفتها الدراسات العلمية عن حجم الأضرار البيئية التي خلّفتها الثورة الصناعية منذ ما يزيد على مئة عام. وقد تضاعفت خطورة هذه الأضرار بفعل التمدد العمراني، وتزايد الكثافة السكانية، وارتفاع معدلات الاستهلاك البشري للمواد الصناعية والأجهزة الحديثة. ونتيجة لذلك ظهرت مبادرات عالمية رائدة، مثل مبادرة **"Go Green"**، التي أكدت ضرورة الحفاظ على البيئة، وتجريم الأنشطة التي تؤدي إلى تدمير المسطحات الخضراء، والغابات، والمياه، والإضرار بالكائنات الحية. لقد ساهمت هذه المبادرة وغيرها في خلق وعي عالمي متنام بوجوب تغيير مسار التنمية البشرية نحو مسار أكثر استدامة وإنسانية (Rezai, 2003).

رغم أن المباني الحديثة تعد ضرورة عصرية لا غنى عنها لبناء المدن والأحياء السكنية، وتنم عن التطور الحضاري، فإن استهلاكها الكبير للطاقة جعلها إحدى المساهمين الرئيسيين في زيادة معدلات التلوث البيئي. ومع تزايد اعتماد الإنسان على الآلات والأجهزة، ارتفعت معدلات التلوث وتفاقمت آثاره على الغلاف الجوي والتربة والمياه. من هنا برزت الحاجة إلى تشجيع إنشاء المباني الخضراء، أي تلك المباني المصممة وفق معايير صديقة للبيئة، تأخذ في الاعتبار التفاعل الإيجابي مع العناصر الطبيعية مثل الإضاءة الطبيعية والتهوية الملائمة، وتضمن بيئة داخلية صحية ومريحة للإنسان. وقد شهد العالم خلال العقود الأخيرة نمواً ملحوظاً في الوعي بأهمية هذه المباني، وضورة تزايدها، إلى جانب انتشار مفهوم المدن الذكية التي تعتمد على الطاقة النظيفة مثل طاقة الشمس والماء. وأسهم هذا التوجه في ازدهار صناعة الطاقة المتجددة، مع انخفاض تكلفتها، وتطوير قطاعات صناعية صديقة للبيئة، من بينها صناعة الإضاءة الموفرة للطاقة LEED، وأنظمة المياه الحديثة، والأجهزة الكهربائية المقتصدة في استهلاك الطاقة.

تُعَد المكتبات الخضراء امتداداً طبيعياً لمفهوم المباني الخضراء، إذ أن المكتبات ليست مجرد مبان، بل هي مؤسسات مجتمعية تؤدي أدواراً ثقافية ومعرفية محورية. وبما أن المكتبات تضطلع بمسؤولية إنتاج المعرفة وحفظها ونشرها، فإن من البديهي أن تكون أيضاً شريكاً فاعلاً في حماية البيئة وضمان استدامتها. فالمكتبات الخضراء تمثل نموذجاً لمؤسسات معرفية متوافقة مع متطلبات العصر، تستجيب للاحتياجات الإنسانية والمجتمعية، وتراعي متطلبات الحاضر والمستقبل، وتتماشى مع المبادرات العالمية الرامية لحماية البيئة. ويتطلب التحول نحو المكتبات الخضراء وعياً عميقاً يبدأ منذ مرحلة التخطيط والتصميم لضمان توافقها مع المعايير البيئية، غير أن ذلك لا يعني استبعاد المباني القديمة، إذ يمكن تهيئتها وتطوير هياكلها وأنظمتها بما يتواءم مع مبادئ الاستدامة. وهكذا تصبح المكتبات الخضراء جزءاً من الحل، لا من المشكلة، من خلال خلق بيئات معرفية صحية وصديقة للبيئة.

أننا أمام اتجاهين مرتبطين بالمكتبات، اتجاه يسعى لتهيئتها ماديا من حيث هيكلة مبانيها لتتوافق مع المعايير البيئية، واتجاه يسعى لتهيئتها داخليا لتكون متوافقة مع متطلبات العصر الداعية

لمراعاة للاعتبارات البيئية من حيث البنية التحتية واستخدام مواد صديقة للبيئة، وتوفير مساحات خضراء داخل المبني وترشيد استهلاك الموارد الطبيعية كالماء والطاقة، وخلق بيئات معرفية صحية صديقة للبيئة.

شهدت السنوات الماضية تطوراً ملحوظاً في وضع معايير دولية تهدف إلى دعم إنشاء المباني والمدن المستدامة. وقد أثمرت الجهود عن ظهور أنظمة تقييم واعتماد عالمية متعددة، من أبرزها : **LEED**(شهادة الريادة في الطاقة والتصميم البيئي Leadership in Energy and Environmental Design)، و **EDGE** (شهادة التميز في التصميم لتحقيق كفاءة أكبر Excellence in Design for Greater Efficiencies)، و **BREEAM**(طريقة التقييم البيئي البريطانية Building Research Establishment's Environmental Assessment Method)، و **DGNB**(Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen). هذه المعايير العالمية لم تقتصر على رفع مستوى الوعي بأهمية الاستدامة، بل ساعدت المؤسسات والدول على صياغة خطط تنفيذية عملية لتشييد مبان صديقة للبيئة، وتخطيط مدن تراعي الطبيعة والمسطحات الخضراء والكائنات الحية. ومن خلال هذه الأطر المرجعية أصبح بالإمكان قياس مدى التزام المؤسسات والمباني بالمعايير البيئية، وهو ما يفتح المجال أمام المكتبات للاستفادة من هذه النماذج وتطبيقها بما يتناسب مع طبيعة رسالتها المجتمعية.

ورغم تزايد عدد المكتبات التي يمكن وصفها بأنها "خضراء" في بعض الدول العربية، وتنامي الوعي بأهمية الحفاظ على البيئة، إضافة إلى وجود استراتيجيات وطنية تدعم هذا التوجه، إلا أن الطريق ما زال طويلاً أمام المنطقة العربية لتحقيق إنجازات ملموسة في هذا المجال. فما زالت الدراسات تؤكد أن الجهود بحاجة إلى المزيد من الوضوح والتنظيم والالتزام المؤسسي على المدى الطويل. ويأتي هذا الكتاب كمحاولة جادة لإبراز الجهود الحالية المبذولة في العالم العربي في مجال المكتبات الخضراء، مع السعي في الوقت ذاته لاقتراح معيار عربي خاص بالمكتبات الخضراء، معيار يستفيد من الخبرات والمعايير الدولية الراسخة، لكنه يراعي في الوقت نفسه خصوصية المجتمعات العربية، وإمكاناتها المادية، وثقافتها، واحتياجاتها الفعلية.

لماذا هذا الكتاب؟

تزايدت في الآونة الأخيرة الجهود المبذولة في العالم العربي لتبنِّي استراتيجيات صديقة للبيئة في مختلف القطاعات من ضمنها قطاع المكتبات والمعلومات، تماشياً مع التوجهات العالمية نحو تحقيق التنمية المستدامة. وعلى الرغم من ظهور بعض المبادرات الفردية الناجحة، لا يزال هناك غيابٌ لمعيارٍ موحَّد يُعين المكتبات العربية على التحوُّل إلى مكتبات خضراء على اسس علمية ومنهجية ومعايير دولية مقننة. ومن هنا، يأتي هذا الكتاب لسدِّ تلك الفجوة من خلال تقديم "المعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء: نحو بيئة مستدامة في خدمات المعلومات"، الهادف إلى تعزيز دور المكتبات في حماية البيئة وترسيخ ثقافة الاستدامة على المستوى المؤسسي والمجتمعي. يستند هذا المعيار إلى التجارب الدولية والإقليمية، مع مراعاة المتطلبات والخصوصيات المحلية في المنطقة العربية. يتناول الكتاب المعايير العالمية لتصميم وبناء المكتبات الخضراء، حيث يستعرض أهم الشهادات والبرامج الدولية المعتمدة في هذا المجال، بالإضافة إلى خطوات التصميم والتنفيذ والتشغيل، مع تسليط الضوء على دور المكتبات بوصفها مؤسسات تعليميّة وثقافيّة في الالتزام بالممارسات المستدامة.

يبدأ الكتاب بتوضيح مفهوم المكتبات الخضراء وأهدافها في تعزيز الاستدامة البيئية، مع بيان الأسس النظرية التي تُنبئ بضرورة اعتماد معايير خاصة بالمباني الصديقة للبيئة. كما يستعرض التحولات العالمية في مجال الإنشاءات المستدامة، وكيفية تكاملها مع رسالة المكتبات ودورها المجتمعي.

يمكن لمؤسسات المعلومات الاستفادة المباشرة من الكتاب بتبني بعض المعايير، أو جميعها، وفقاً لأهدافها، وتوجهاتها الحالية والمستقبلية. كما يمكنها الاستفادة من المعايير الدولية التي يستعرضها الكتاب إذا توافقت مع أهدافها. بشكل عام، وبفضل ما يشتمله الكتاب من تغطية نظرية واسعة كذلك عن المكتبات الخضراء، نؤمل أن يساهم في رفع الوعي حول أهمية هذا الموضوع، وتطبيقه، ومساهمتنا كمجتمع عربي للنداءات العالمية الرامية للحفاظ على البيئة، وتعظيم الاستدامة، ويمكن تحديد أهداف هذا الكتاب باختصار في النقاط الآتية:

- تقديم إطار مرجعي موحَّد يساعد المكتبات العربية على التحوُّل إلى مكتبات خضراء.
- تعزيز الوعي بأهمية الاستدامة البيئية في قطاع المكتبات والمعلومات.
- تزويد اختصاصيي المعلومات من جهة، ومديري مؤسسات المعلومات من جهة ثانية، بأدوات ومعايير عملية لتقييم الأداء البيئي وتحسينه.
- دعم صانعي القرار بمعلومات تفصيلية حول أهمية المكتبات الخضراء وآليات تطبيقها.
- دعم التوجهات البحثية الحالية والمستقبلية وبخاصة لطلبة الدراسات العليا في موضوع المكتبات الخضراء الذي يعد مجالاً بكراً للبحث والدراسة.

الفصل الأول: مفهوم المكتبات الخضراء وتطوّرها العالمي

خلال السنوات الأخيرة، تصاعد الاهتمام العالمي بقضايا الاستدامة، وبرزت أزمة تغير المناخ كقضية مركزية نالت اهتماماً واسعاً من العلماء، وصانعي السياسات، والناشطين البيئيين. وقد أسفرت هذه اليقظة البيئية عن بروز العديد من الأبحاث، وسنّ قوانين وتشريعات داعمة، إضافة إلى إنشاء منظمات وهيئات تروّج لمفهوم التنمية المستدامة باعتبارها هدفاً استراتيجياً ضمن رؤى الدول حول العالم (شتا، ٢٠٢٢).

في عام ٢٠١٥، اعتمدت جميع الدول الأعضاء في منظمة الأمم المتحدة "خطة التنمية المستدامة ٢٠٣٠"، والتي تُعد خارطة طريق عالمية لتحقيق السلام والازدهار للناس والكوكب، حاضراً ومستقبلاً. وقد انبثقت هذه الخطة عن مؤتمرات وقمم دولية متخصصة، وتركّز على سبعة عشر هدفاً للتنمية المستدامة(SDGs) ، تُعالج أبعاداً مترابطة تشمل :النمو الاقتصادي، والعدالة الاجتماعية، والاستدامة البيئية .كما تدعو الخطة إلى شراكة دولية شاملة تُسهم فيها جميع الدول، المتقدمة منها والنامية، إلى جانب مؤسسات المجتمع المدني والقطاع الخاص (UNESCO, n.d.).

وفي هذا الإطار، انضم الاتحاد الدولي لجمعيات المكتبات ومؤسسات المعلومات إفلا (IFLA) إلى هذا الجهد العالمي، باعتبار المكتبات مؤسسات فاعلة في نقل المعرفة وتعزيز التنمية المستدامة على المستويات المجتمعية كافة. وأكد الاتحاد على أهمية أن تضمن المكتبات حرية الوصول إلى المعلومات كأحد مرتكزات تحقيق الاستدامة. فقد أصبح من غير الكافي التركيز فقط على الجوانب البيئية كالتقليل من التلوث والحفاظ على الموارد الطبيعية؛ بل ينبغي أن تشمل جهود الاستدامة الجوانب الاجتماعية، والسياسية، والثقافية، والأخلاقية (شتا، ٢٠٢٢، IFLA, 2024)

هذا التوجه الشامل هو ما مهّد لظهور "المكتبات الخضراء" Green Libraries أو "المكتبات المستدامة" Sustainable Libraries، التي باتت تمثّل انعكاساً ملموساً لمساعي المكتبات نحو الالتزام بمعايير الاستدامة متعددة الأبعاد. في هذا السياق، أطلق الاتحاد الدولي جائزة الإفلا

للمكتبة الخضراء "IFLA Green Library Award"، وهي جائزة مقدّمة من مجموعة المكتبات والاستدامة البيئية (Environment, Sustainability and Libraris Special Interest Group) التي تهدف إلى تشجيع المشاريع والمبادرات المكتبية التي تجسّد الالتزام البيئي والمسؤولية المجتمعية. وقد بدأت الجائزة عام ٢٠١٦ بفئة واحدة "أفضل مكتبة خضراء"، وتوسعت لاحقاً لتشمل فئتين رئيسيتين: "أفضل مكتبة خضراء" و"أفضل مشروع مكتبة خضراء" (شتا، ٢٠٢٢، ص. ٢٧٨٠).

وفي الإطار ذاته، يُعد نظام "ريادة الطاقة والتصميم البيئي (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED)" أحد أبرز نظم التصنيف العالمية للمباني الخضراء، وقد طوّره المجلس الأمريكي للأبنية الخضراء(USGBC) في عام ١٩٩٨م، ويهدف هذا النظام إلى تقييم جودة المباني بناءً على كفاءتها في استخدام الموارد وتقليل الانبعاثات، مما يجعله مرجعية أساسية في تصميم المكتبات المستدامة (شتا، ٢٠٢٢، ص. ٢٧٨٢).

كل ذلك يوضح التوجه المؤسسي نحو إدماج مفاهيم الاستدامة في بيئة المكتبات، ليس فقط من منظور التصميم المعماري، وإنما أيضاً في مجالات تشغيل المكتبات، وخدماتها، ومحتواها المعرفي.

وفي سياق الجهود الإقليمية لتعزيز ممارسات البناء المستدام، تبرز خارطة الطريق الإقليمية لقطاع البناء والتشييد في المنطقة العربية(2025–2020) ، التي وردت ضمن تقرير *الحالة العالمية لقطاع البناء والتشييد ٢٠٢٤/٢٠٢٥* ، كمرجع استراتيجي لدول المنطقة في مساعيها لتحقيق التحول نحو مبانٍ مستدامة ومرنة مناخياً. وقد صُممت هذه الخارطة بالتعاون بين برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) والتحالف العالمي للمباني والتشييد(GlobalABC) ، وتركز على خمسة محاور رئيسية: التخطيط الحضري، والمباني الجديدة، والمباني القائمة، ومواد البناء، والمرونة المناخية. ورغم أن الوثيقة لا تُفرد ذكراً تفصيلياً للمكتبات، إلا أن الطابع العام للخارطة يؤسس لمنطق دمج المباني العامة والثقافية، وفي مقدمتها المكتبات، ضمن مشاريع التأهيل

والتحول الأخضر. فالمكتبات لا تمثل فقط بُنى تحتية خدمية، بل هي مؤسسات تعليمية ومعرفية ذات قدرة على التأثير المجتمعي ونشر ثقافة الاستدامة. لذا، فإن تفعيل ما جاء في الخارطة يتطلب تبني توجه مؤسسي يدمج المكتبات صراحة في الخطط الوطنية والممارسات التطبيقية للبناء المستدام، من حيث التصميم والتشغيل والمحتوى التوعوي، وهو ما يمكن أن يسهم في تسريع وتيرة التحول البيئي للقطاع الثقافي في المنطقة.(IEA, UNEP, & GlobalABC, 2024)

تعريف المكتبات الخضراء

لم تعد المكتبة المعاصرة مجرد مستودع للكتب أو مركز لحفظ الوثائق، بل أصبحت فاعلاً محورياً في دعم منظومة التعلم مدى الحياة، وتعزيز التنمية المجتمعية والمعرفية. في ضوء ذلك، برز مفهوم "المكتبة الخضراء" كاستجابة نوعية للتحولات البيئية العالمية، متوازياً مع مفهوم التنمية المستدامة. فالمكتبة الخضراء تُعنى بتكامل الاعتبارات البيئية في بيئة المكتبة من حيث البنية التحتية، والإدارة، والخدمات، والمحتوى، وذلك من خلال استخدام مواد صديقة للبيئة، وترشيد استهلاك الموارد الطبيعية كالماء والطاقة، وتوفير مساحات خضراء داخل وخارج مرافق المكتبة (Kesuma & Rahmawati, 2024).

ويتجاوز مفهوم المكتبة الخضراء مجرد الإشارة إلى المساحات المزروعة المحيطة بمبنى المكتبة، إذ إنها تُعد جزءاً لا يتجزأ من حركة "المباني الخضراء"، والتي تهدف إلى الحد من التأثير البيئي السلبي للأنشطة العمرانية. وغالباً ما يُستخدم مصطلح "المكتبات المستدامة " (Sustainable Libraries)كمصطلح رديف يشير إلى هذا النوع من المكتبات التي تتبنى نهجاً بيئياً متكاملاً.

يشمل هذا النهج أيضاً ما يُعرف بـ "الخدمات والممارسات الخضراء"، حيث تذهب بعض التعريفات إلى تضمين طريقة تقديم الخدمات، واختيار المجموعات، وتدريب الموظفين، وإدارة الفعاليات، ضمن نطاق الاستدامة. فبحسب قاموس مصطلحات علم المكتبات والمعلومات (ODLIS)، تُعرف المكتبة الخضراء بأنها "مكتبة مصممة لتقليل التأثير السلبي على البيئة

الطبيعية وتعظيم جودة البيئة الداخلية من خلال اختيار الموقع بعناية، واستخدام مواد بناء قابلة للتحلل، والحفاظ على مصادر المياه والطاقة والورق، وإعادة التدوير المسؤول للنفايات (Goel & Kumar, 2023, p. 106)."

من المنظور العربي، قدّم حاتم (٢٠٢٠، ص. ١٤١) تعريفاً مشابهاً ركّز فيه على تقنيات اختيار الموقع ومواد البناء، بالإضافة إلى مفاهيم إعادة التدوير والترشيد، مؤكداً أن المكتبة الخضراء هي "تلك المصممة لتقليل التأثير السلبي على البيئة الطبيعية وتعظيم جودة البيئة في الأماكن المغلقة."

تشترك معظم التعريفات الحديثة للمكتبة الخضراء في عدد من السمات الجوهرية، من بينها:

- **الحد الأدنى من استهلاك الكهرباء**، من خلال الاعتماد على الطاقة الطبيعية.
- **الاستفادة القصوى من المصادر المتجددة** مثل ضوء الشمس والهواء والخشب.
- **دمج المساحات الخضراء والنباتات الطبيعية** في التصميم الداخلي والخارجي.
- **تحسين جودة الهواء الداخلي** حفاظاً على صحة المستفيدين والعاملين.

وتحولا نحو الجوانب الداخلية المرتبطة بالمكتبة الخضرا ء، أوضح Djamila & Zineeddine (2023)أن المكتبة الخضراء تهدف إلى دعم الاستدامة البيئية من خلال محتوى متخصص في قضايا البيئة، بالإضافة إلى خلق مساحة للتواصل والتفاعل المجتمعي من أجل رفع الوعي البيئي.

كما شددت منظمة إفلا (IFLA)على أن المكتبة الخضراء لا يُمكن اختزالها في الجوانب المعمارية، بل يجب أن تنعكس الاستدامة في كافة أنشطتها، من البرامج والمشاريع، إلى الخدمات والمجموعات، بما يبرز دور المكتبة كمؤسسة مسؤولة اجتماعياً تساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة (سدوس، ٢٠٢٣).

وفي محاولة لتأطير أبعاد هذا المفهوم، اقترح حاتم (٢٠٢٠، ص. ١٤٤) أربع زوايا لتعريف المكتبات الخضراء المستدامة:

١. **استدامة المباني والتصميم المعماري.**
٢. **قياس وتقويم الأداء البيئي وتطويره.**
٣. **استدامة مجموعات المكتبة والمنح الدراسية.**
٤. **الممارسات الفنية والتشغيلية الخضراء.**

ويُجمع بعض الباحثين على أن أي مكتبة تتبنى فلسفة الاستدامة، وتطبقها بشكل ملموس في البنية التحتية والإجراءات اليومية والخدمات المقدمة، يمكن أن تُصنّف ضمن "المكتبات الخضراء". وبهذا، فإن التمايز بين المكتبة التقليدية والمكتبة الخضراء لا يقتصر على الشكل الخارجي، بل يمتد ليشمل النُظم، والعمليات، والمحتوى، والرسالة المجتمعية.

المؤشرات البيئية في المكتبات الخضراء

تُعد مراقبة المؤشرات البيئية في المؤسسات المكتبية خطوة أساسية ضمن استراتيجيات التحول نحو الاستدامة. إذ تمثل هذه المؤشرات أدوات قياس فعالة لرصد الأداء البيئي للمكتبة، وتقييم مدى التزامها بالممارسات الصديقة للبيئة، كما تساعد في وضع خطط للتحسين المستمر. من أبرز هذه المؤشرات ما يلي (Kisibi, 2017):

- **معدل استهلاك المياه السنوي** :يُعد تقنين استخدام المياه أحد أهم عناصر البناء الأخضر، ويُقاس الأداء الفعلي من خلال مقارنة الاستهلاك السنوي مع المعايير الدولية والمحلية ذات الصلة.
- **كمية النفايات الصلبة والمواد الضارة بالبيئة** :يتم قياسها بهدف الحد من إنتاج المخلفات غير القابلة للتحلل، ووضع خطط فعالة لإعادة التدوير.

- **معدل استهلاك الورق والطاقة** :تؤشر هذه المعدلات إلى مدى كفاءة استخدام الموارد اليومية، كما تعكس الوعي البيئي للمؤسسة.
- **النسبة المئوية للمراسلات الورقية التي تنتهي في سلة المهملات** :يعد تقليل هذه النسبة هدفاً استراتيجياً ضمن مفهوم "مكاتب بلا ورق."
- **نسبة الفهارس المطبوعة على ورق معاد تدويره** :وهو مؤشر يعكس توجه المكتبة نحو الاستخدام المسؤول للمواد الطباعية .

لا تقتصر هذه المؤشرات على الأداء البيئي الداخلي فقط، بل تشكل قاعدة لتقييم التأثير المجتمعي للمكتبات في مجال التثقيف البيئي والتوعية بالاستهلاك المسؤول.

مبررات التحول نحو المكتبات الخضراء

يمثل الاتجاه نحو "المكتبات الخضراء" تطوراً طبيعياً في ضوء المتغيرات البيئية والاقتصادية والاجتماعية التي تواجه العالم. وقد عدّدَ عددٌ من الباحثين، مثل حسين (٢٠١٩) وسدوس (٢٠٢٣)، أبرز الدوافع التي تقف وراء هذا التحول، والتي يمكن ايجازها كما يلي:

١. **تقليل الهدر وزيادة الكفاءة** :تسعى المكتبات الخضراء إلى تحسين إدارة الموارد، مما يقلل من التكاليف التشغيلية على المدى الطويل، من خلال ترشيد استهلاك المياه والكهرباء والورق.
٢. **المساهمة في الحد من التلوث البيئي** :عبر تقنيات البناء الأخضر، وأنظمة إعادة التدوير، ومراقبة الانبعاثات، تساهم هذه المكتبات في تقليل البصمة البيئية.
٣. **تعزيز البحث العلمي المستدام** :من خلال تطوير مجموعات معلوماتية ترتكز على موضوعات البيئة والاستدامة، وتنظيم مصادر رقمية مستدامة.
٤. **حلول للمشكلات التمويلية** :توفر التصميمات المستدامة بدائل موفرة للطاقة، مما يقلل النفقات الرأسمالية والتشغيلية، ويعزز صمود المكتبات في مواجهة الأزمات الاقتصادية.

٥. **الأثر النفسي للمساحات الخضراء** :أظهرت الدراسات أن المساحات الطبيعية داخل بيئات العمل والتعليم تحسّن الحالة النفسية للمستخدمين وتزيد من إنتاجيتهم.
٦. **تحسين الصورة الذهنية للمكتبات** :يساهم التصميم المعماري الجمالي في تغيير النظرة التقليدية للمكتبة كمكان جامد، لتصبح بيئة مرنة وجاذبة للمعرفة.
٧. **ندرة الموارد الطبيعية** :يتطلب الوضع البيئي العالمي ترشيد استخدام الموارد وتبني ممارسات مسؤولة بيئياً.
٨. **تفعيل الدور التوعوي** :تبرز المكتبة الخضراء كمؤسسة تعليمية ذات مسؤولية بيئية، تسهم في نشر الوعي بقضايا البيئة والاستدامة في المجتمع المحلي.

من خلال هذه المبررات، تتضح الحاجة المتزايدة إلى إعادة هيكلة سياسات المكتبات التقليدية، وتحويلها إلى مراكز معرفية صديقة للبيئة، تجمع بين الكفاءة التشغيلية، والمسؤولية الاجتماعية، والتكامل مع الأجندة الدولية لأهداف التنمية المستدامة ٢٠٣٠.

الملامح الأساسية للمكتبات الخضراء

يمتد مفهوم المكتبات الخضراء ليشمل كافة العناصر التكوينية للمكتبة، بما يعكس التزاماً بيئياً شاملاً يتخطى حدود التصميم المعماري، ليغطي السياسات التشغيلية، والمحتوى المعرفي، والخدمات المجتمعية. يمكن تصنيف هذه الملامح ضمن ثلاثة محاور رئيسية :الجانب المعماري، والمجموعات الخضراء، والخدمات والأنشطة.

أولاً: الجانب المعماري

تؤكد سدوس (٢٠٢٣) أن الجانب المعماري في المكتبات الخضراء لا ينبغي اختزاله في كونه مجرد تصميم حديث أو اعتماد على تقنيات ذكية، بل يجب فهمه كمنظومة متكاملة تشمل البيئة الخارجية، والتصميم الداخلي، والتكنولوجيا المستخدمة، وممارسات التشغيل والصيانة. وفي

ضوء معايير نظام الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة(LEED)، حددت سدوس مجموعة من العناصر المعمارية الأساسية التي تشكل جوهر بناء المكتبة الخضراء.

أول هذه العناصر هو اختيار الموقع المناسب، إذ يُفضل أن يكون الموقع صديقاً للبيئة، بعيداً عن التأثير السلبي على الأنظمة الإيكولوجية، وسهل الوصول إليه بوسائل النقل المستدامة. كما يُستحسن أن يُجهز بمرافق لوقوف السيارات الكهربائية أو الموفرة للطاقة، وأن يُسهم في تقليل التلوث الضوئي والتأثير الحراري على المحيط.

أما على مستوى إدارة الموارد المائية، فتركّز المكتبة الخضراء على اعتماد أنظمة ترشيد استهلاك المياه، مثل الحنفيات الذكية، وخزانات جمع مياه الأمطار، إضافة إلى استخدام المياه المعالجة في ري المساحات الخضراء، مع اعتماد تصميمات تقلل الحاجة إلى الري المتكرر.

وفيما يتعلق بـترشيد استهلاك الطاقة، تعتمد هذه المكتبات على أقصى استفادة ممكنة من الإضاءة الطبيعية، من خلال النوافذ الواسعة والأسقف الزجاجية، مع دمج تقنيات حديثة مثل الألواح الشمسية لتوليد الكهرباء، ومستشعرات الحركة التي تُغلق الإنارة تلقائياً في الأماكن غير المشغولة.

وعلى صعيد المواد، تؤكد سدوس ضرورة استخدام مواد بناء مستدامة، مثل الأخشاب المعاد تدويرها، والطوب الطبيعي، والعوازل البيئية كالصوف. كما يدخل في التأثيث استخدام الفلين، وخشب البامبو، والشمع النباتي، بما يتماشى مع مبدأ(3R): *Reduce, Reuse, Recycle* ، والذي يهدف إلى تقليل الهدر وتعزيز إعادة الاستخدام.

ولا تقل أهمية جودة الهواء الداخلي عن باقي العناصر، إذ تُراعى في تصميم المكتبة وجود أنظمة تهوية طبيعية فعالة، وأجهزة استشعار لمراقبة نسب ثاني أكسيد الكربون، إضافة إلى أنظمة تدوير الهواء التي تحدّ من الركود الداخلي وتقلل من الاعتماد على التكييف الميكانيكي.

أخيراً، تشمل ممارسات التشغيل والصيانة عدداً من الإجراءات البيئية، منها تركيب عوازل صوتية أسفل المقاعد والطاولات للحد من الضوضاء، واستخدام منظفات خالية من المواد الكيميائية الضارة، إلى جانب الحد من استخدام المواد البلاستيكية في الأدوات المكتبية، مثل الأكياس وعبوات المياه.

ثانياً: المجموعات الخضراء

تشير سدوس (٢٠٢٣) إلى أن مجموعات المكتبة يجب أن تشكّل جزءاً جوهرياً من المنظومة الخضراء، لا أن تقتصر على كونها محتوى معرفي داخل مكتبة ذات تصميم مستدام. فالبُعد البيئي ينبغي أن يمتد إلى مضمون المحتوى ذاته، مما يستدعي تطوير المجموعات المكتبية على ثلاثة مستويات متكاملة.

أولاً، انتقاء المحتوى المعرفي بعناية، بحيث يتناول موضوعات وثيقة الصلة بالاستدامة البيئية، مثل الطاقة المتجددة، والزراعة العضوية، والتغير المناخي، والحوسبة الخضراء، وغيرها من القضايا التي تعزز الوعي البيئي وتدعم أهداف التنمية المستدامة.

ثانياً، تؤكد سدوس على أهمية إعادة تدوير المجموعات التي يتم استبعادها من التداول، عبر توظيفها في أنشطة تعليمية، أو تحويلها إلى مواد تثقيفية تُعرض في مساحات مخصصة داخل المكتبة، أو تستخدم كأدوات توعوية في المعارض البيئية والمناسبات المجتمعية، بدلاً من التخلص منها بطرق تقليدية.

أما المستوى الثالث، فيركّز على تنويع أشكال مصادر المعلومات، من خلال تقديم محتوى مرئي وتفاعلي، يشمل عروضاً تقديمية، ومقاطع فيديو، ومحاضرات مسجلة تتناول قضايا البيئة والاستدامة. ويساهم هذا التوجه الرقمي في تقليل الاعتماد على الورق، وهو ما يجعل المكتبات الرقمية خياراً بيئياً منخفض البصمة الكربونية، وأكثر توافقاً مع مبادئ الاستدامة الشاملة.

ثالثاً: الخدمات والأنشطة

تركز المكتبة الخضراء على دمج النشاط البيئي ضمن الخدمات الأساسية المقدمة (سدوس، ٢٠٢٣). تشمل الخدمات والأنشطة المقدمة في المكتبات الخضراء مجموعة من المبادرات التوعوية والتشاركية التي تهدف إلى تعزيز الثقافة البيئية لدى مختلف فئات المجتمع، وتفعيل دور المكتبة كمركز مجتمعي مسؤول. وتتمثل هذه الأنشطة في إقامة علاقات تعاون استراتيجية مع منظمات بيئية محلية، ومبادرات شبابية، ومجموعات مدرسية، وذلك لدمجهم في مشاريع بيئية داخل المكتبة، مما يعزز التفاعل بين المعرفة والتطبيق البيئي الواقعي.

كما تُنظم المكتبات الخضراء برامج تثقيفية متنوعة تشمل ورش عمل تخصصية وندوات علمية تتناول قضايا الاستدامة مثل: إدارة النفايات، إعادة التدوير، ترشيد استهلاك المياه، والزراعة الحضرية. وتستهدف هذه البرامج جميع الفئات العمرية، بما في ذلك الأطفال والطلاب وكبار السن، من خلال أساليب تعليمية تفاعلية تراعي خصوصية كل فئة.

وفي هذا الإطار، تُخصص بعض المكتبات أقساماً تعليمية مثل "مكتبة الطفل الخضراء"، التي تقدم أنشطة تربوية مبتكرة مثل سرد القصص البيئية، وتدريب الأطفال على مهارات إعادة الاستخدام والتدوير، وذلك لغرس المفاهيم البيئية في سن مبكرة.

إلى جانب ذلك، تساهم هذه المكتبات في دعم المشاريع البحثية المتعلقة بالاستدامة البيئية، عبر توفير مصادر علمية متخصصة، وربط الباحثين بجهات معنية، وتنظيم فعاليات مشتركة مع مؤسسات أكاديمية ومنظمات بيئية. ولا تقتصر الأنشطة على داخل المكتبة فقط، بل تمتد إلى تنظيم حملات توعية خارجية، تتضمن المحاضرات العامة، والمعارض البيئية، وتوزيع النشرات التوعوية في المجتمع المحلي.

توضح هذه الملامح أن المكتبة الخضراء ليست مجرد مبنى مستدام، بل هي منظومة متكاملة من السياسات والممارسات التي تسعى لتقديم المعرفة في إطار مسؤولية بيئية شاملة. وبذلك، تصبح المكتبة فاعلاً محورياً في تحقيق أهداف التنمية المستدامة عبر بيئة تعليمية ومعرفية واعية بيئياً.

تجارب دولية رائدة في المكتبات الخضراء

في ظل التحديات البيئية المتزايدة التي يشهدها العالم اليوم، لم يعد التحول نحو الاستدامة خياراً ثانوياً أو ترفاً مؤسسياً، بل أصبح ضرورة استراتيجية تفرض نفسها في مختلف القطاعات، بما في ذلك قطاع المكتبات ومؤسسات المعلومات. فقد تجاوزت وظيفة المكتبة كونها مجرد مكان لحفظ الكتب أو تقديم خدمات معلوماتية تقليدية، لتتحول إلى فاعل بيئي ومجتمعي يسهم بفاعلية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، من خلال تبني فلسفة "المكتبات الخضراء" باعتبارها نموذجاً تشغيلياً ومعرفياً متكاملاً.

وفي هذا السياق، برزت على المستوى الدولي العديد من التجارب الرائدة التي سعت إلى تحويل المكتبات من منشآت تقليدية إلى مراكز معرفية بيئية مستدامة . وقد تنوعت هذه التجارب في أهدافها ووسائلها، بحسب السياقات الثقافية والجغرافية والاقتصادية، إلا أنها اشتركت جميعها في التركيز على دمج معايير البيئة والاستدامة ضمن تصميم المكتبات، وأنظمتها التشغيلية، ومحتواها المعرفي، وخدماتها المجتمعية. وفيما يلي عرض لأهم هذه النماذج:

أولاً: التجارب العربية

التجربة الجزائرية

تُعد الجزائر من أوائل الدول العربية التي بدأت في استكشاف إمكانيات تطبيق نموذج المكتبات الخضراء، وذلك من خلال مبادرات أكاديمية وتجريبية تبنتها الجامعات والمؤسسات التعليمية. ومن أبرز هذه المبادرات مشروع "المكتبة الخضراء" في جامعة الجزائر ٢، والذي يُعد من أوائل التطبيقات المؤسسية لهذا المفهوم في السياق الجزائري.

وقد تناولت دراسة Ameur & Kadi (2023) هذا المشروع بوصفه نموذجاً تطبيقياً لدمج مبادئ الاستدامة البيئية في بيئة المكتبة، سواء على مستوى التصميم المعماري أو إدارة العمليات والخدمات. فقد اعتمد المشروع على مجموعة من المعايير البيئية الصارمة في إدارة الطاقة والمياه، مع التركيز على استخدام مواد بناء محلية ومستدامة تضمن تقليل الأثر البيئي للإنشاءات.

وعلاوة على الجوانب المعمارية، شمل المشروع أيضاً برامج توعوية بيئية موجهة للطلبة والباحثين، بهدف تعزيز وعيهم بالقضايا البيئية وربطها بالمسؤولية الأكاديمية والمجتمعية. كما أطلقت الجامعة ضمن هذا الإطار خطة للتحول الرقمي التدريجي، بهدف تقليل الاعتماد على الموارد الورقية، وتحقيق قدر أكبر من الكفاءة البيئية في استخدام المعلومات وتداولها (Ameur & Kadi,2023).

التجربة التونسية

تُجسّد تونس توجهًا مؤسسيًا متناميًا نحو دمج مفاهيم الاستدامة البيئية في قطاع المكتبات والمعلومات، مستندةً إلى إطار قانوني وتنظيمي يكرّس الحق في بيئة سليمة ومتوازنة. فقد أكّد Keluh (2021) أنّ الدستور التونسي والعديد من التشريعات اللاحقة قد أرسيا مفهوم الحق الإنساني في بيئة صحية باعتباره التزامًا وطنيًا يقع على عاتق الدولة ومؤسساتها التعليمية والثقافية، بما في ذلك المكتبات العامة والجامعية، التي أصبحت مطالبة بتبنّي سياسات تشغيلية تراعي البعد البيئي وتنسجم مع أهداف التنمية المستدامة.

تُجسّد تونس توجهًا مؤسسيًا متناميًا نحو دمج مفاهيم الاستدامة البيئية في قطاع المكتبات والمعلومات، مستندةً إلى إطار قانوني وتنظيمي يكرّس الحق في بيئة سليمة ومتوازنة. فقد أكّد Keluh (2021) أنّ الدستور التونسي والعديد من التشريعات اللاحقة قد أرسيا مفهوم الحق الإنساني في بيئة صحية باعتباره التزامًا وطنيًا يقع على عاتق الدولة ومؤسساتها التعليمية والثقافية، بما في ذلك المكتبات العامة والجامعية، التي أصبحت مطالبة بتبنّي سياسات تشغيلية تراعي البعد البيئي وتنسجم مع أهداف التنمية المستدامة.

قدّم قصيبي (2019) إطارًا نظريًا مهمًا، حيث أكد على ضرورة تبني المكتبات التونسية للمعايير البيئية الدولية، خاصة ISO 14001 المتعلق بأنظمة الإدارة البيئية و ISO 26000الخاص بالمسؤولية الاجتماعية للمؤسسات. وشدّد على أهمية تحويل المكتبات إلى مؤسسات مستدامة بيئيًا واجتماعيًا من خلال التصميم الأخضر، الممارسات التشغيلية الصديقة للبيئة، وتنمية الوعي البيئي لدى المستفيدين والعاملين. ومن أبرز الممارسات التي تجسّد هذا التوجه اعتماد مبدأ التدقيق البيئي في بعض المكتبات الجامعية، والذي يهدف إلى تحليل أنماط استهلاك الطاقة والمياه، وتحديد مكامن الهدر البيئي، واقتراح حلول تقنية وإدارية لتحسين الكفاءة التشغيلية. كما تم تطوير مفهوم الرفوف الخضراء كمساحات معرفية داخل المكتبات مخصّصة لعرض المطبوعات الرقمية والورقية المتعلقة بالبيئة والمناخ والطاقة، وذلك بالشراكة بين وزارتي التعليم العالي والبيئة، لتوجيه الطلاب والباحثين نحو قضايا الاستدامة.

على المستوى التطبيقي، تُعدّ تجربة المكتبة الخضراء (La Bibliothèque Verte) في حديقة البلفيدير بتونس العاصمة نموذجًا عمليًا رائدًا لدمج البعد البيئي في الفضاءات الثقافية العامة. فقد أُعيد افتتاح هذه المكتبة في 22يونيو ٢٠٢٥ بعد أعمال تجديد واسعة، بمبادرة من جمعية أصدقاء البلفيدير(Association des Amis du Belvédère) ، وبدعمٍ من برنامج Engagement Globalوجمعية المدن التوأم تونس–كولونيا، ضمن مشروعٍ يهدف إلى تعزيز الثقافة البيئية في المجال الحضري (Tunisie.co, 2025, La Presse de Tunisie, 2025).

وتُركّز المكتبة على توفير مصادر معرفية متخصّصة في الطبيعة والبيئة والتنمية المستدامة والزراعة والمناظر الطبيعية، إذ تضم أكثر من 1,600عنوان باللغتين الفرنسية والعربية في هذه المجالات .(Tunisie.co, 2025) كما تقدّم فضاءات قراءة في الهواء الطلق تحت ظلال الأشجار، إلى جانب أنشطة ثقافية وتربوية متنوّعة تشمل ورشًا فنية ومعارض بيئية ومبادرات توعوية تستهدف الزوار من مختلف الفئات العمرية.

تجسّد هذه التجربة مثالًا ملموسًا على كيفية تحويل المكتبات العامة إلى منصّات مجتمعية للتربية البيئية وتعزيز الوعي بالاستدامة، من خلال إعادة توظيف الفضاءات الخضراء كمراكز تعليم غير رسمي تدمج بين الثقافة والمناخ والمدينة .وبذلك، تُسهم المكتبة الخضراء في البلفيدير في تفعيل السياسات الوطنية البيئية التي تنص عليها المادة ٤٥ من الدستور التونسي، الداعية إلى حماية البيئة وتكريس الحق في فضاء صحي ومتوازن (Constitute Project, 2014).

ويُمثل المعهد العالي للتوثيق بجامعة منوبة، المؤسسة الأكاديمية الوحيدة المتخصصة في تكوين أخصائيي المكتبات والمعلومات في تونس منذ ١٩٨١، مركزًا للبحث والتفكير حول قضايا الاستدامة في المكتبات من خلال برامجه الأكاديمية وأنشطته البحثية. وقد ساهم هذا المعهد في تطوير الخطاب الأكاديمي حول المكتبات الخضراء في السياق التونسي والمغاربي.

تُمثل هذه التجارب نموذجًا عربيًا ناشئًا في إعادة تعريف وظيفة المكتبة، ليس فقط كمركز لنشر المعرفة، بل كفضاءٍ فاعلٍ في تحقيق التوازن بين التنمية البشرية والاستدامة البيئية، بما ينسجم مع المبادئ الدستورية والسياسات الوطنية التي تؤكدها الدراسات الحقوقية والبيئية الحديثة (Keluh, 2021).غير أن الانتقال من الوعي النظري إلى التطبيق الواسع النطاق يتطلب مزيدًا من الدعم المؤسسي والتوثيق الميداني لهذه الجهود.

التجربة المصرية

شهدت مصر خلال السنوات الأخيرة توجهاً متنامياً نحو دمج المكتبات ضمن منظومة التنمية المستدامة الوطنية، وذلك من خلال مبادرات استراتيجية تم تنفيذها في عدد من المكتبات العامة الكبرى ومراكز المعرفة، بهدف تعزيز البعد البيئي والاجتماعي في أداء هذه المؤسسات.

من أبرز هذه المبادرات مشروع تطوير المكتبات العامة بالتعاون مع مكتبة الإسكندرية، والذي مثّل نموذجاً تجريبياً لتطبيق معايير الاستدامة البيئية على أرض الواقع، وتحديداً من خلال إعادة تأهيل إحدى المكتبات العامة بمحافظة دمياط. وقد استند المشروع إلى استخدام مواد بناء صديقة

للبيئة، واعتماد أنظمة إنارة موفرة للطاقة، إضافة إلى تحسين أنظمة التهوية الطبيعية والميكانيكية بما يتماشى مع المعايير البيئية الحديثة.

كما أشارت دراسة شتا (٢٠٢٢) إلى أن هذا التوجه لم يقتصر على المدن الكبرى، بل شمل أيضاً مكتبات عامة **في** محافظات الصعيد، حيث تم دمجها ضمن برامج التنمية البيئية من خلال تخصيص مساحات تعليمية موجهة للأطفال، تهدف إلى غرس قيم الوعي البيئي منذ المراحل المبكرة من التعليم.

وتدعم المكتبات العامة هذا الدور من خلال تنظيم حملات توعية بيئية بالتعاون مع الجمعيات الأهلية، تتضمن ندوات تثقيفية حول قضايا مثل تدوير الورق والبلاستيك، إلى جانب إقامة معارض كتب متخصصة في موضوعات البيئة والاستدامة، مما يعزز من وظيفة المكتبة كمحرك للوعي البيئي المجتمعي.

مكتبة محمد بن راشد _ الإمارات العربية المتحدة_

تُعد مكتبة محمد بن راشد في دبي واحدة من **النماذج العربية الرائدة** في مجال المكتبات الخضراء، حيث حصلت على الشهادة البلاتينية من نظام**LEED** ، وهي أعلى درجة تصنيف تُمنح للمباني المستدامة.

تتميز المكتبة بعدد من الخصائص البيئية المتميزة:

- توليد ما نسبته 10٪ من احتياجات الطاقة **من** خلال الألواح الشمسية المثبتة على السطح.
- خفض استهلاك المياه بنسبة ٥٠٪ من خلال إعادة تدوير مياه أجهزة التكييف لري المساحات الخضراء.
- تركيب نوافذ ذكية تتحكم في كمية الحرارة والضوء الداخل إلى المبنى، مما يزيد من كفاءة الطاقة.

- توفير أكثر من 11.5مليون مصدر إلكتروني، إلى جانب مكتبة ورقية تضم ٢٠٠٠ كتاب متخصص في قضايا البيئة والاستدامة.
- تنظيم فعاليات مثل "أفق الاستدامة: عالم من المعرفة الخضراء"، وورش عمل ونوادٍ للقراءة تعزز الوعي البيئي (الإمارات اليوم، ٢٠٢٣).

ثانيًا: التجارب غير العربية

تجربة مكتبة - ***The Hive*** - المملكة المتحدة

تُعد مكتبة *The Hive*، الواقعة في مقاطعة وورسيستر بإنجلترا، أول مكتبة في المملكة المتحدة تجمع بين مكتبة عامة وأكاديمية ضمن مبنى واحد صديق للبيئة .وقد تم تصميمها وفقاً لمعايير الاستدامة البيئية، مما يجعلها نموذجاً يحتذى به في دمج الخدمات المكتبية مع الحفاظ على البيئة.

تميزت هذه المكتبة بعدة خصائص معمارية وبيئية، من أبرزها (Carr, 2013):

- نظام تهوية طبيعي بالكامل، يغني عن الاعتماد على التكييف الصناعي.
- نظام تدفئة يعتمد على الكتلة الحيوية، وهي تقنية مستدامة تقلل من انبعاثات الكربون.
- منظومة لإعادة تدوير المياه، تعتمد على استخدام مياه نهر سيفرن في تشغيل الأنظمة التبريدية.
- تصميم معماري مبتكر يعتمد على الإضاءة الطبيعية لترشيد استهلاك الكهرباء.

مكتبة – ***Book Mountain*** هولندا

تقع مكتبة *Book Mountain* في مدينة سبايكنيس، وتُعد واحدة من أكثر المشاريع المعمارية البيئية تفرّداً. فقد صممت المكتبة بهكيل هرمي مغطى بالكامل بالزجاج، مما يسمح بدخول ضوء الشمس بكفاءة عالية ويقلل الحاجة للإنارة الاصطناعية.

وتتجلى ملامح الاستدامة في هذه المكتبة من خلال:

- استخدام مواد معاد تدويرها في تجهيزاتها، مثل أصص الزهور القديمة لصناعة الأرفف.
- اعتماد نظام تهوية طبيعي يخفف الحاجة إلى أنظمة تكييف ميكانيكية.
- توفير مساحات خضراء داخلية تعزز من بيئة القراءة وتساهم في تحسين الحالة النفسية للمستخدمين.(Carr, 2013)

التجربة الهندية معايير IGBC

بدأت الهند في اعتماد مفهوم المكتبات الخضراء في أوائل التسعينات، وركّزت على تطوير معايير محلية تتناسب مع السياق المناخي والاجتماعي. وتُشرف على هذه المعايير مؤسسة المجلس الهندي للأبنية الخضراء(IGBC) ، الذي استلهم بعضاً من مبادئه من نظام LEED العالمي.

شملت التجربة الهندية عدة محاور رئيسية، منها:

- تطبيق تقنيات ترشيد المياه والطاقة في تصميم وتشغيل المكتبات.
- التوسع في استخدام الطاقة الشمسية كمصدر بديل وفعّال.
- تحسين بيئة المكتبة عبر اعتماد التهوية والإضاءة الطبيعية.
- تطوير نظام تقييم بيئي محلي يُعرف بـ **GRIHA**، يتيح تكييف معايير البناء الأخضر مع متطلبات السياق الهندي.

ويُعد أبرز مثال على هذه التجربة مكتبة **آنا المئوية (Anna Centenary Library)** في مدينة تشيناي، التي حصلت على تصنيف **LEED Gold**، وتُعتبر حالياً أكبر مكتبة خضراء في قارة آسيا .(Gaffar, Sindhu, & Kumar, 2021)

مكتبات فائزة بجائزة IFLA الخضراء(2024)

١. **مكتبة ميسولا العامة – الولايات المتحدة**

تميزت ببرامج تعليم بيئي، ومبادرات للعدالة الاجتماعية والمساواة الاقتصادية، ومبنى مصمم بإضاءة طبيعية متكاملة.

٢. **مكتبة بادربورن – ألمانيا**

جُدد مبناها البالغ من العمر ٤٦٠ عاماً باستخدام مواد معاد تدويرها، وطبقت نموذج "اقتصاد المشاركة" من خلال مكتبة البذور، تبادل الملابس، ومشاركة الأدوات.

٣. **مكتبة الأحياء – جامعة سالامانكا، إسبانيا**

تدمج المكتبة المجتمع المحلي والبحث العلمي عبر فعاليات توعية بيئية وأنشطة تعليمية ومجتمعية.(IFLA, 2024)

هذه التجارب تُظهر مدى التنوع والابتكار في تطبيق مفاهيم المكتبات الخضراء حول العالم، مع احترام للظروف البيئية والاقتصادية والثقافية المحلية. كما تعكس الإمكانية العملية لتحويل المكتبات التقليدية إلى مؤسسات مسؤولة بيئياً، دون المساس بجودتها الأكاديمية أو خدمتها المجتمع

الأطر النظرية للمكتبات الخضراء وآليات اعتمادها

تُعد المكتبات الخضراء جزءًا أصيلاً من التوجه العالمي نحو الاستدامة البيئية، إذ تمثل نموذجًا للمؤسسات المعلوماتية الحديثة التي توفّق بين تقديم المعرفة من جهة وحماية البيئة من جهة أخرى. ويتأسس هذا المفهوم على مجموعة من الأطر النظرية متعددة التخصصات التي تدمج

بين مفاهيم التنمية المستدامة، والهندسة البيئية، والإدارة الرشيدة للموارد، بما يجعل المكتبة فاعلًا مؤسسيًا يسهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة.(UNESCO, 2023)

فيما يلي أبرز الأطر النظرية التي يستند إليها مفهوم المكتبة الخضراء:

أولاً: الاستدامة البيئية

يُعد هذا الإطار الجوهر الأساسي في تشكيل فلسفة المكتبات الخضراء، إذ يتمحور حول تحقيق التوازن بين تلبية حاجات الحاضر من الموارد دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها.(WCED, 1987) يتضمن هذا الإطار مفاهيم أساسية مثل:

- ترشيد استهلاك الموارد الطبيعية.
- إدارة النفايات بطرق مستدامة.
- تقليل الانبعاثات الكربونية.

في السياق العربي، تشير دراسة "المكتبات الخضراء" إلى أن من معايير المكتبة الخضراء استخدام مواد منخفضة التأثير البيئي وإعادة تدوير النفايات داخل المبنى وخارجه (شبلحي، ٢٠٢٠). إضافة الى الاستدامة التشغيلية عبر ترشيد الطاقة والمياه والنفايات (شتا، ٢٠٢٢).

ثانيًا: تصميم المباني الخضراء

يركز هذا الإطار على الجانب المعماري، وهو أحد الأركان الأساسية في تقييم مدى "خُضرة" المكتبة. ومن أهم مكوناته:

- الاستفادة القصوى من الإضاءة والتهوية الطبيعية.
- استخدام مواد بناء صديقة للبيئة.

- اعتماد معايير مثل معايير LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) لتقييم الأداء البيئي للمبنى (Goel & Kumar, 2023).

ثالثًا: المسؤولية الاجتماعية للمكتبات

المكتبة الخضراء لا تؤدي فقط وظيفة خدمية، بل تُعد فاعلاً اجتماعياً يسهم في:

- رفع الوعي البيئي في المجتمع المحلي.
- توفير مصادر معرفية متخصصة في قضايا البيئة والتنمية المستدامة.
- تنظيم فعاليات وورش عمل تعزز الثقافة البيئية.

وهذا يربط المكتبة بدورها المدني كمحرك للتغيير الاجتماعي البيئي، وليس مجرد مركز للمعلومات. وبذلك تتحول المكتبة إلى منصة مدنية للتغيير البيئي الإيجابي، تدمج بين الوظيفة الثقافية والمسؤولية البيئية والاجتماعية.(IFLA, 2022)

رابعًا: التحول الرقمي والاستدامة

يُعتبر التحول الرقمي أحد المسارات التطبيقية الحديثة لتحقيق أهداف الاستدامة في المكتبات، إذ يساهم في تقليل الاعتماد على الموارد المادية ويعزّز الكفاءة التشغيلية. ويتجسّد هذا الإطار في:

- إتاحة المصادر الرقمية بدلاً من المطبوعة، ما يحدّ من استخدام الورق.
- تطوير منصات إلكترونية تقلل الحاجة إلى التنقل المادي للمستفيدين.
- خفض البصمة الكربونية الناتجة عن الطباعة والنقل.

ويؤكد شاهين (2024) أن التحول الرقمي يمثل جسرًا يربط بين التكنولوجيا والاستدامة، إذ يتيح للمكتبات أن تصبح أكثر مرونة وتكيّفًا مع المتغيرات البيئية والاقتصادية، مع الحفاظ على جودة الخدمات وإمكانية الوصول المفتوح.

آليات اعتماد المكتبات الخضراء

لكي يتحقق التحول الفعلي نحو نموذج المكتبة الخضراء، لا بد من اتباع منهجيات واضحة وآليات تنفيذية قابلة للقياس والتطبيق، تستند إلى معايير بيئية ومؤسسية دقيقة. وتتمثل أبرز هذه الآليات فيما يلي:

١. تقييم الوضع البيئي الراهن

يمثل هذا التقييم الخطوة الأولى نحو التحول، ويتم من خلال استخدام أدوات مثل مؤشرات الأداء البيئي (EPIs) لتحديد الفجوات بين الأداء الحالي والمعايير المستهدفة، سواء على مستوى البنية التحتية أو الممارسات التشغيلية .(Hauke, Latimer, & Niess, 2021)

٢. وضع خطة استدامة متكاملة

تتضمن هذه الخطة محاور متعددة تشمل :إدارة الطاقة، والمياه، والمواد، وعمليات التشغيل . وتُبنى على تشخيص دقيق لوضع المبنى والخدمات، مع تحديد أهداف قابلة للقياس ومرتبطة بزمن محدد..(*ALA-SLI, n.d*)

٣. دمج المساحات الخضراء في التصميم العام

يشمل ذلك المساحات الداخلية والخارجية، لما لها من أثر مباشر على تحسين جودة الهواء، وتوفير بيئة صحية ومريحة للمستخدمين، بالإضافة إلى إسهامها في التوازن البيئي (Abulude, 2023).

٤. **التدريب وبناء الوعي المؤسسي والمجتمع**

من خلال تصميم برامج تدريبية وتوعوية موجهة للعاملين والمستفيدين، تهدف إلى تعزيز ثقافة الاستدامة، وتطوير سلوكيات مسؤولة بيئياً، وترسيخ ممارسات خضراء في بيئة العمل والخدمة (CILIP, n.d.).

٥. **الحصول على الشهادات والاعتمادات البيئية**

تُعد الشهادات البيئية وسيلة مهمة لتقييم التزام المكتبة بالمعايير الدولية، ومن أبرزها:

- **شهادة LEED** الصادرة عن المجلس الأمريكي للأبنية الخضراء.
- **اعتماد ENSULIB** المقدم من الاتحاد الدولي لجمعيات المكتبات(IFLA) ، كمؤشر عالمي على التميز البيئي في المجال المكتبي. (Hauke et al., 2021)

من خلال هذه الآليات المتكاملة، يمكن للمكتبات أن تنتقل من كونها مجرد مراكز لحفظ المعرفة إلى منصات رائدة في التوعية البيئية، تسهم بفاعلية في تحقيق أهداف خطة التنمية المستدامة ٢٠٣٠، وتلعب دوراً محورياً في صياغة مستقبل مستدام معرفياً وبيئياً.

تحديات التحول نحو المكتبات الخضراء

على الرغم من الزخم المتزايد حول المكتبات الخضراء، وتزايد عدد المبادرات المحلية والدولية في هذا المجال، إلا أن التحول نحو نموذج المكتبة المستدامة لا يخلو من تحديات جوهرية تعيق تبنيه في العديد من البيئات، لا سيما في السياقات العربية والنامية. وقد رصدت الأدبيات عدداً من هذه المعوقات، سواء على المستوى المؤسسي أو التشغيلي أو الثقافي، من بينها دراسات واحد (2022)، وشبلحي وصابور (2020) في السياق العربي، و Kolawole & Oladokun, (2025) في السياق الإفريقي، وكلها تؤكد أن المكتبات في الدول النامية تواجه صعوبات بنيوية ومادية تحد من قدرتها على تبنّي معايير البناء الأخضر وإدارة الطاقة والمياه بكفاءة.

أولاً، تُعد التكلفة الأولية المرتفعة لتصميم أو إعادة تأهيل المكتبات وفق المعايير الخضراء من أبرز التحديات. إذ تتطلب هذه العمليات استثمارات في أنظمة توفير الطاقة، ومعالجة المياه، ومواد البناء المستدامة، وهو ما قد لا يتوافر في موازنات المكتبات العامة أو الجامعية، خصوصاً في الدول ذات الموارد المحدودة (واحد، ٢٠٢٢؛ Kolawole & Oladokun, 2025).

ثانياً، يتطلب تنفيذ مشروع مكتبة خضراء طواقم متخصصة في مجالات معمارية وهندسية وإدارية متداخلة، وهذا النوع من التكامل المعرفي ما زال غير متوافر على نطاق واسع في المؤسسات المكتبية العربية، ما ينعكس على جودة التخطيط والتنفيذ. وهو ما أشار إليه شبلحي وصابور (2020)بأن غياب هذا التكامل المعرفي يُعد أحد العوائق الرئيسة في المؤسسات المكتبية العربية.

ثالثاً، يشكل غياب التشريعات والسياسات المكتبية الداعمة للاستدامة عائقاً إضافياً، إذ غالباً ما تُترك هذه المبادرات لجهود فردية أو شراكات غير ملزمة، مما يجعلها غير قابلة للاستمرارية طويلة الأجل.

رابعاً، يمثل ضعف الوعي البيئي بالمكتبة الخضراء كمفهوم شامل لدى العاملين والمستفيدين تحدياً، إذ يتم أحياناً اختزال الفكرة في الجانب الجمالي دون استيعاب أبعادها البيئية والتشغيلية (شبلحي وصابور، ٢٠٢٠).

خامساً، أشارت IFLA (n.d.) و Bychkova وأخرون (٢٠٢٣) الى أن غياب أدوات كمية ونوعية دقيقة لقياس الأداء البيئي في المكتبات، يصبح من الصعب تتبع التقدم أو تأهيل المكتبات للحصول على شهادات دولية مثل LEEDأو .ENSULIB

التكنولوجيا الذكية والمكتبات الخضراء

مع تزايد التوجه العالمي نحو التحول الرقمي والاستدامة البيئية، برزت أهمية دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (IoT) في بيئة المكتبات الخضراء، لما لها من قدرة على رفع الكفاءة التشغيلية وتقليل استهلاك الموارد. تشير دراسة Venugopal & Somanadh

(2024)إلى أن تقنيات إنترنت الأشياء تتيح التحكم الذكي في الإضاءة والتهوية، ورصد استهلاك الطاقة والمياه في الزمن الحقيقي، مما يساعد في اتخاذ قرارات فورية لتحسين الأداء البيئي. كما يمكن توظيف الذكاء الاصطناعي في تحليل سلوك المستفيدين وتخصيص الخدمات بناءً على احتياجاتهم، مما يسهم في تقليل الهدر وتحسين تخصيص الموارد، فضلاً عن إمكانيات التنبؤ بالاستخدام المستقبلي للمصادر. وبالتالي، فإن دمج هذه التقنيات لا يُعد مجرد رفاهية تقنية، بل هو خطوة استراتيجية تعزز من قدرة المكتبة على تحقيق أهداف الاستدامة بكفاءة أعلى.

خاتمة الفصل

في ختام هذا الفصل، يتبيّن أن التحوّل نحو "المكتبات الخضراء" لا يُعدّ خياراً ترفيهياً أو اتجاهاً مؤقتاً، بل هو استجابة علمية ومؤسسية ضرورية في ظل التحديات البيئية والاجتماعية المتسارعة التي تواجه العالم اليوم. لقد أصبح من الملحّ أن تعيد مؤسسات المعلومات، وعلى رأسها المكتبات، تعريف أدوارها ومسؤولياتها بما يتجاوز المفهوم التقليدي لنقل المعرفة، نحو منظومة أكثر شمولاً تستند إلى مبادئ التنمية المستدامة، والحَوكمة البيئية، والمسؤولية المجتمعية. وقد كشف هذا الفصل أن المكتبات الخضراء ليست مجرد بُنى معمارية مستدامة أو ممارسات تقنية حديثة، بل تمثل نموذجاً متكاملاً يجمع بين السياسات البيئية، والإدارة الرشيدة، والخدمات المعلوماتية المبتكرة، والذي يُعد جزءًا من استراتيجياتها للتحول الرقمي وتعزيز تجربة المستخدم. ومن أبرز هذه الخدمات المساعدات الذكية التفاعلية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، والتي تقدم إرشادًا مرجعيًا فوريًا للمستفيدين عبر واجهات محادثة ذكية قادرة على فهم اللغة الطبيعية وتقديم التوصيات المناسبة. ومن الخدمات المبتكرة الأخرى إدخال تقنيات الواقع الافتراضي والواقع المعزز (VR/AR) في البرامج التعليمية والأنشطة الثقافية، لتوفير بيئات تعلم غامرة تُسهم في رفع جودة التفاعل المعرفي. كما يسهم دمج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في المكتبات الخضراء يسهم في تحسين كفاءة الطاقة وإدارة الإضاءة والتهوية، مما يعزز أهداف الاستدامة البيئية ويقلل استهلاك الموارد.

ومن خلال تحليل الأطر النظرية، واستعراض المؤشرات البيئية، وتسليط الضوء على تجارب دولية رائدة، يتضح أن تحقيق نموذج مكتبة خضراء فاعل يتطلب تحولاً شاملاً في الرؤية المؤسسية، والبُنى التحتية، وآليات التشغيل، وبناء ثقافة بيئية واعية داخل المؤسسة. وانطلاقاً من هذه الرؤية، تبرز مجموعة من التوصيات العملية للمؤسسات التي تسعى إلى تبني هذا النموذج التحويلي:

١. دمج مفاهيم الاستدامة بوضوح في رؤية المكتبة واستراتيجياتها التنفيذية.

٢. تطوير أطر تقييم بيئي داخلية تعتمد على مؤشرات الأداء البيئي (EPIs) وتُحدَّث دورياً.
٣. الاستفادة من التجارب الدولية وتكييفها بما يتلاءم مع السياقات الثقافية والبيئية المحلية.
٤. الاستثمار في تدريب الموظفين على مفاهيم البيئة الخضراء وتطبيق ممارسات بيئية مسؤولة.
٥. بناء شراكات استراتيجية مع البلديات، والمنظمات البيئية، والجامعات لتعزيز مشاريع المكتبة الخضراء.
٦. السعي نحو الحصول على شهادات استدامة دولية مثل LEED أو ENSULIB كعلامات جودة معترف بها عالمياً.
٧. تعزيز التحول الرقمي لتقليل استهلاك الموارد الطبيعية وتحسين كفاءة الوصول إلى المعلومات.
٨. دعم إنتاج المعرفة المحلية ذات الصلة بالاستدامة من خلال تنظيم الندوات، والمعارض، والنشر العلمي.

يعزز تبنّي هذا النموذج الدور التنموي للمكتبة، ويعكس التزامها الحقيقي تجاه المستقبل، ويحولها إلى فاعلٍ بيئي ومجتمعي محوري ضمن المنظومة الثقافية والتعليمية المستدامة.

الفصل الثاني: دور التكنولوجيا في تعزيز المكتبات الخضراء

السياق البيئي العالمي ودور المؤسسات المعرفية

تشهد النظم البيئية العالمية في السنوات الأخيرة تغيرات متسارعة تُعد من أكثر التغيرات خطورة في التاريخ الإنساني المعاصر. ويرتبط هذا التحول الحاد في التوازن البيئي بتفاقم المشكلات البيئية الناتجة عن الأنشطة البشرية الصناعية والاقتصادية، مثل التصنيع المكثف، والتعدين واسع النطاق، والتوسع الزراعي العشوائي، وتلوث الهواء والمياه، إلى جانب أنماط الاستهلاك المتزايدة التي باتت تشكل عبئاً مستداماً على قدرة الأرض في التجدد الطبيعي. وقد أكد العديد من الباحثين أن هذه الأنشطة أدت إلى تدهور الأنظمة البيئية على نحو يجعل قدرتها على التكيف مع المتغيرات المناخية شبه معدومة، مما ينبئ بتحول بيئي غير مسبوق، يُحتمل ألا يكون قابلاً للانعكاس في المستقبل القريب. فإلى جانب التأثيرات المادية المباشرة، تتسبب هذه الأنشطة في فقدان الأراضي الزراعية، وندرة المياه، وتدهور المواطن الطبيعية، وانقراض التنوع البيولوجي، ونضوب الموارد الطبيعية. كما تزداد وتيرة الكوارث البيئية مثل الفيضانات وحرائق الغابات والعواصف، وهو ما يُثير القلق على المستويين الإقليمي والدولي.(Schmit et al., 2012) ضمن هذا السياق المتأزم، أضحت الحاجة إلى تدخلات معرفية وتوعوية ملحة وضرورية، حيث تلعب المؤسسات التعليمية والثقافية، وعلى رأسها المكتبات، دوراً حيوياً في التصدي لهذه التحديات. ولا يقتصر هذا الدور على نشر المعلومات فحسب، بل يمتد إلى تشكيل وعي بيئي جمعي يعزز من ممارسات الاستدامة ويؤسس لجيل واعٍ بالمخاطر والتحديات المحيطة به.

المكتبات كمؤسسات فاعلة في تحقيق الاستدامة البيئية

تبرز المكتبات بوصفها مؤسسات تعليمية ومعرفية مركزية، لها دور محوري في دعم أجندة التنمية المستدامة التي أطلقتها الأمم المتحدة ضمن خطة ٢٠٣٠، والتي تسعى إلى تحقيق السلام، والازدهار، والحفاظ على البيئة بشكل متكامل .(Singh & Mishra, 2019) ويُعد تبني مفهوم "المكتبة الخضراء" إحدى الاستجابات النوعية لهذه التحديات، حيث تدمج هذه المكتبات بين

أهدافها التقليدية في تقديم المعرفة والخدمات، وبين الأهداف البيئية والاجتماعية والاقتصادية الحديثة.

ويمكن للمكتبات أن تتحول إلى مراكز للتعلم المجتمعي المستمر والتغيير البيئي البنّاء، من خلال تبني ممارسات مسؤولة بيئياً مثل تقليل النفايات، إعادة التدوير، واستخدام الموارد المتجددة، بالإضافة إلى اعتماد بدائل تكنولوجية ذكية تكون صديقة للبيئة (Hamad et el, 2022; Singh & Dixit, 2021). ولتحقيق ذلك، يجب على المكتبات أن تتبنى نهجاً تحويلياً يعيد صياغة رسالتها في ضوء التحديات المعاصرة، وأن توائم بين مهامها التقليدية والحاجات المستجدة التي يفرضها نقص الموارد وتغير المناخ، بما يعزز من دورها كمؤسسات مسؤولة بيئياً واجتماعياً.

ويؤكد Okojie و Okiy (2020) أن الاستدامة الحقيقية في المكتبات لا تقتصر على البنية المادية، بل تتجسد أيضاً في السياسات اليومية، ومستوى التفاعل مع الجمهور، ونوعية الخدمات المقدمة. فالمكتبة الخضراء ليست فقط مساحة معرفية، بل بيئة حيوية تتكامل فيها الأبعاد البيئية والاجتماعية والتقنية ضمن رؤية استراتيجية واضحة.

التكنولوجيا كقوة دافعة نحو المكتبات الخضراء

يشكّل التحول الرقمي في قطاع المكتبات أحد المحاور الجوهرية في تقليل استهلاك الموارد الطبيعية، وهو ما يُسلّط عليه الضوء في الفصل الرابع من هذه الدراسة، حيث يتم تناول أثر رقمنة المجموعات والخدمات على تقليل الانبعاثات المرتبطة بعمليات التشغيل التقليدية. فمع انتقال المكتبات إلى تقديم المحتوى الرقمي، وإتاحة الوصول الإلكتروني للمصادر، والتوسع في خدمات الإعارة والتدريب عبر الإنترنت، انخفضت الحاجة إلى السفر الميداني من قبل المستفيدين، إضافة إلى الحد من الطباعة الورقية واستهلاك المواد المكتبية. ويُعد هذا التحول امتداداً لمفهوم المكتبة الذكية، حيث لا يقتصر التطوير على الجوانب التقنية، بل يشمل الأثر البيئي ضمن استراتيجية مكتبات خالية من الهدر، وذات بصمة كربونية منخفضة. وبالتالي، فإن الرقمنة لا تمثل مجرد

تطور في البنية التحتية، بل تُعد أداة محورية في دعم الأهداف البيئية للمكتبات الخضراء ضمن رؤى التنمية المستدامة.(UNESCO, 2020; IFLA, 2021)

في ضوء التحديات البيئية المعاصرة، بدأت المؤسسات الحديثة، بما في ذلك المكتبات، في تبني استراتيجيات تنموية جديدة تركز على التحول نحو ممارسات صديقة للبيئة. وتُعد التكنولوجيا في هذا السياق عنصراً محورياً في إنجاح هذا التحول، إذ تتيح أدواتها الذكية إمكانات واسعة للتقليل من الأثر البيئي من جهة، وتحقيق كفاءة تشغيلية عالية من جهة أخرى، ما يجعلها خياراً اقتصادياً وبيئياً في آنٍ واحد.(Feola, 2015; Mishra, 2023)

أمام هذا التحول، أصبح اعتماد نموذج "المكتبة الخضراء" ضرورة استراتيجية وليست خياراً اختيارياً. فالمكتبات، بصفتها مؤسسات ذات بعد مجتمعي ومعرفي عميق، تمتلك القدرة على التأثير في السلوك البيئي للأفراد والمجتمعات، وتوجيههم نحو تبني قيم وممارسات الاستدامة. ومن ثم، تُعد هذه المكتبات بمثابة القدوة والنموذج للمؤسسات الأخرى في كيفية دمج البعد البيئي ضمن العمليات المؤسسية، ونقل هذه الثقافة إلى المحيط المجتمعي الواسع (Pangail, 2015; Jones & Wong, 2016).

وفي هذا السياق، يرتبط التحول نحو المكتبات الخضراء بعدد من الممارسات المؤسسية المتكاملة، مثل تصميم منشآت مكتبية مستدامة، وتحديث المرافق القائمة، وتقديم خدمات تكنولوجية صديقة للبيئة، والاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، والحد من استهلاك المياه والطاقة. وقد بدأ الاهتمام العالمي بهذه المفاهيم منذ تسعينيات القرن العشرين، إلا أنه تحول إلى توجه استراتيجي فعلي في بدايات القرن الحادي والعشرين .(Singh & Dixit, 2021) ومن ثم، أصبح دور المكتبات لا يقتصر على تقديم الخدمات المعلوماتية، بل يتجاوز ذلك ليشمل التأثير المباشر في البيئة والمجتمع، باعتبارها كيانات مسؤولة ومؤثرة.

الحلول التقنية في التهوية والإضاءة وإدارة الطاقة في المكتبات الخضراء

مع تزايد الوعي العالمي بأهمية مفاهيم الاستدامة البيئية، وتزايد القلق من التأثيرات السلبية للنشاط البشري على البيئة، بدأت العديد من المؤسسات، بما فيها المكتبات، في تبني أنظمة تشغيلية وممارسات قائمة على أسس بيئية. وقد أسهمت التكنولوجيا بشكل مباشر في تمكين هذا التحول، من خلال توفير حلول تقنية ذكية تسهم في تعزيز كفاءة التشغيل، وتحسين جودة البيئة الداخلية، وتقليل التأثير البيئي السلبي على المدى الطويل. وتُعد أنظمة التهوية والإضاءة وإدارة الطاقة من أبرز المجالات التي شهدت تطوراً كبيراً في إطار تطبيقات المكتبات الخضراء. إذ تلعب هذه النظم دوراً محورياً في تقليل البصمة البيئية للمكتبة، سواء من حيث استهلاك الموارد أو تقليل الانبعاثات، وفي ذات الوقت تحسين راحة المستخدمين من زوار وموظفين.

أنظمة التهوية الذكية

تُعد أنظمة التهوية الذكية أحد الحلول التقنية المتقدمة لتحسين جودة الهواء الداخلي في المباني، لا سيما في البيئات التي تتطلب مستويات عالية من الراحة والمعايير الصحية مثل المكتبات. تعتمد هذه الأنظمة على شبكة من أجهزة الاستشعار الحساسة التي تراقب باستمرار مجموعة من المؤشرات البيئية، مثل تركيز ثاني أكسيد الكربون(CO_2) ، والرطوبة النسبية، والجسيمات الدقيقة(PM2.5) ، والمركبات العضوية المتطايرة .(VOCs) وعند تجاوز هذه القيم المستويات المقبولة، تستجيب أنظمة التهوية تلقائياً من خلال ضبط معدلات تدفق الهواء بما يتلاءم مع الظروف البيئية الداخلية في الوقت الحقيقي، دون الحاجة إلى تدخل بشري مباشر.

تشير الأبحاث إلى أن هذه الأنظمة قادرة على تقليل استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى ٦٠% مقارنة بأنظمة التهوية التقليدية، دون أن يؤثر ذلك سلباً على جودة الهواء الداخلي، بل قد يؤدي في بعض الحالات إلى تحسينها .(Walker, Guyot, & Sherman, 2019)على سبيل المثال، وجدت دراسة أجريت في أحد المباني التجريبية أن نظام تهوية ذكي مبني على حساسات CO_2 و VOCs

تمكن من ضبط التهوية بكفاءة، مما أدى إلى تحسين جودة الهواء وتقليل الانبعاثات الملوثة مع تحقيق وفورات في الطاقة التشغيلية .(Qabbal, Younsi, & Naji, 2020)

علاوة على ذلك، طوّرت بعض الأنظمة القدرة على التعلّم والتنبؤ باحتياجات التهوية المستقبلية باستخدام نماذج استشرافية تعتمد على الذكاء الاصطناعي، مثل الشبكات العصبية الاصطناعية ونماذج التنبؤ بتركيز ثاني أكسيد الكربون، مما يسمح بضبط استباقي للتهوية وتحقيق أقصى درجات الكفاءة .(Wang & Wang, 2012) كما تُظهر التجارب الميدانية أن الجمع بين هذه الأنظمة الذكية وتقنيات استعادة الطاقة (Energy Recovery Ventilation - ERV) يمكن أن يعزز من فعالية أنظمة التهوية، خاصة في الأماكن ذات الإشغال المتغير مثل المكتبات، مما يضمن توافر بيئة صحية مع تقليل الهدر الطاقي .(Ouazia et al., 2023) وبذلك، تمثل أنظمة التهوية الذكية أحد الحلول المبتكرة التي تسهم في تحقيق أهداف الاستدامة في قطاع المباني التعليمية والثقافية، من خلال تحقيق توازن ذكي بين الراحة البيئية وكفاءة استهلاك الطاقة.

تقنيات الإضاءة الطبيعية والحساسات الضوئية

تُعد الإضاءة الطبيعية من الركائز الأساسية في تصميم المباني المستدامة، لما لها من أثر مباشر على تحسين جودة البيئة الداخلية وتقليل استهلاك الطاقة. فاعتماد المكتبات على الضوء الطبيعي لا يقتصر فقط على كونه مصدراً مجانياً للطاقة، بل يتجاوز ذلك ليُسهم في تعزيز الراحة البصرية، ورفع مستوى التركيز والإنتاجية لدى المستخدمين، وتحقيق التوازن البيئي والاقتصادي ضمن مبادئ الاستدامة.

في سياق المكتبات، يشمل دمج الإضاءة الطبيعية استخدام واجهات زجاجية واسعة، وقباب شفافة، وأسقف علوية مزوّدة بفتحات ضوئية تعمل على تعظيم النفاذية الضوئية خلال ساعات النهار. وقد أظهرت دراسات تطبيقية في مكتبات تعليمية مثل مكتبة كلية العمارة بجامعة بيروت العربية، أن تحسين توزيع الضوء الطبيعي يُسهم في تقليل الاعتماد على الإضاءة الاصطناعية بنسبة

ملحوظة، ويؤدي إلى خفض استهلاك الطاقة السنوي بنسبة تصل إلى ٢٥% عند استخدام أنظمة دمج الضوء الطبيعي والاصطناعي بكفاءة عالية .(Omar et al., 2018)

ولتعزيز هذه الاستفادة، أصبحت المكتبات الحديثة تعتمد على أنظمة إضاءة ذكية مجهزة بحساسات ضوئية متقدمة قادرة على استشعار مستوى الإضاءة الطبيعية وضبط شدة الإضاءة الاصطناعية تلقائياً، بهدف الحفاظ على مستوى إنارة مريح ومتّسق دون هدر في الطاقة. وتُظهر الدراسات أن هذه الأنظمة يمكن أن تُحقق وفورات طاقية تصل إلى ٧٦% في البيئات ذات النوافذ الواسعة، مع الحفاظ على المعايير البصرية المطلوبة .(Acosta et al., 2023) علاوة على ذلك، تؤكد نماذج المحاكاة المعمارية أن تصميم أنظمة مدمجة تجمع بين موقع الشمس، وموقع المبنى، ونظام التحكم في الإنارة، يُعد من أكثر الأساليب فاعلية في تقليل الأثر البيئي للمباني الذكية وتعزيز كفاءتها الطاقية .(Sait et al., 2019)

وبالتالي، فإن الإضاءة الطبيعية ليست فقط خياراً بيئياً اقتصادياً، بل تشكّل أداة استراتيجية في تصميم المكتبات المستدامة التي تسعى لتحقيق التوازن بين الكفاءة الطاقية وراحة المستخدمين، في إطار يتماشى مع مفاهيم العمارة الخضراء والتنمية المستدامة.

أنظمة إدارة الطاقة الذكية

تُعد أنظمة إدارة الطاقة (Energy Management Systems - EMS) من أبرز الحلول التقنية التي تُسهم بفعالية في تعزيز الاستدامة داخل المكتبات، إذ تتيح هذه الأنظمة مراقبة وتحليل استهلاك الطاقة بدقة عالية وعلى نحو مستمر في مختلف المرافق والخدمات المرتبطة بالبنية التحتية للمكتبة. وتعتمد EMS على شبكة من المستشعرات الذكية المرتبطة بوحدة تحكم مركزية، تقوم بجمع بيانات التشغيل المتعلقة بأنظمة الإضاءة، والتدفئة، والتهوية، والتكييف، بالإضافة إلى المعدات الإلكترونية، ثم تحليلها بهدف الكشف عن أنماط الاستخدام الطاقي وتحديد فرص التحسين.

وتكمن القيمة التشغيلية لهذه الأنظمة في قدرتها على تحسين الكفاءة العامة من خلال ترشيد الاستهلاك وتقليل الهدر، إلى جانب توليد تقارير تحليلية دورية تمكّن مسؤولي المكتبات من اتخاذ قرارات مستندة إلى بيانات دقيقة وواقعية. وقد أظهرت بعض الدراسات أن دمج EMS ضمن منظومة التشغيل في المباني العامة، ومن ضمنها المكتبات، يُسهم في خفض الفاقد الطاقي وتحقيق وفورات ملحوظة في التكاليف التشغيلية، عبر دعم عمليات التنبؤ بالاستهلاك وإعادة ضبط سلوكيات التشغيل بناءً على معطيات آنية .(Anjos et al., 2014) كما تتمثل أبرز فوائد هذه الأنظمة في تعزيز كفاءة التشغيل، وتسهيل عمليات المتابعة الدورية، وتحقيق قدرٍ أكبر من الشفافية في إدارة الموارد الطاقية، مما يساهم في تقليص الأثر البيئي وتطوير أداء المكتبات نحو مزيد من الاستدامة والاعتماد على الحلول الذكية.(Jones & Wong, 2016)

وعلى الرغم من أن العديد من أنظمة EMS التقليدية تعتمد على قواعد بيانات تقليدية (DBMS) قد تؤدي إلى تأخير في معالجة البيانات، فإن التوجه نحو أنظمة إدارة تدفق البيانات (DSMS) مكّن من تحقيق تحليل فوري للطاقة، ما يعزز دقة القرار في الوقت الحقيقي، وهو أمر بالغ الأهمية في البيئات سريعة التغير مثل المكتبات الحديثة .(Anjos, Francisco, & Carreira, 2015) علاوة على ذلك، يشهد هذا المجال تطوراً متسارعاً بفضل دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق، وهو ما يُعرف باسم إدارة كفاءة الطاقة المعتمدة على البيانات (Data-Driven Energy Efficiency Management - D2EEM)، والتي تسمح بالتنبؤ بالاستهلاك وتعديل الأداء مسبقاً بناءً على أنماط الاستخدام التاريخية والظروف البيئية (Akhtar, Sujod, & Rizvi, 2021). ومن الجدير الإشارة إلى أن أنظمة EMS لا تسهم فقط في الكفاءة الطاقية، بل تلعب دوراً استراتيجياً في تعزيز الاستدامة التشغيلية وتوسيع فرص الحوكمة الذكية للمباني الثقافية، بما يحقق المواءمة بين الأداء البيئي، والتكلفة، وتجربة المستخدم داخل المكتبة.

الأثر البيئي والاقتصادي للحلول التقنية

لا تقتصر الفوائد المتحققة من تبنّي الحلول التقنية المستدامة، مثل أنظمة إدارة الطاقة، على البعد البيئي فحسب، رغم أهميته في تقليل الانبعاثات وتحسين كفاءة استهلاك الموارد، بل تمتد هذه الفوائد لتشمل أبعاداً اقتصادية وإدارية جوهرية تدعم استدامة المكتبة على المدى الطويل. فمن خلال تقليل استهلاك الكهرباء والمياه عبر أنظمة ذكية للتحكم في الإنارة والتهوية والتكييف، يمكن تحقيق وفورات كبيرة في النفقات التشغيلية، مما يسمح بإعادة توجيه هذه الموارد نحو تطوير الخدمات المكتبية، وتعزيز البرامج المجتمعية، وتحديث البنية التحتية المعرفية والتقنية.

وقد أكدت دراسات ميدانية أن المكتبات والمؤسسات التي قامت بتطبيق هذه الحلول شهدت تحسناً واضحاً في مستويات الراحة البيئية داخل المبنى، من حيث جودة الهواء والإضاءة الحرارية والبصرية، مما انعكس إيجابياً على رضا الزوار والموظفين، وساهم في تقليل معدلات الشكاوى المرتبطة بظروف العمل أو بيئة الجلوس .(Godo, Matsui, & Nishi, 2014) في تجربة أجريت داخل مكتبة في مدينة كوريهارا اليابانية، أدى استخدام نظام تحكم ذكي منخفض التكلفة يعتمد على حساسات المقاعد لضبط تكييف الهواء إلى خفض استهلاك الكهرباء بنسبة 18.3%، مع المحافظة على مستوى الراحة الحرارية للمستخدمين. من جهة أخرى، تشير نتائج الأبحاث إلى أن التكامل بين تقنيات توفير الطاقة والتنبؤ بالراحة الحرارية يمكن أن يعزز من كفاءة القرار الإداري في تشغيل أنظمة المبنى، ويؤدي إلى تحسن ملحوظ في رضا المستخدمين، وهو ما ينعكس بدوره على فعالية الأداء المؤسسي والاستفادة المثلى من الموارد البشرية والمادية .(Tsolkas et al., 2023) بالتالي، فإن اعتماد هذه الأنظمة التقنية لا يمثل مجرد استثمار في كفاءة التشغيل، بل يُعد رافعة استراتيجية لتحقيق استدامة مؤسسية شاملة تعزز من جودة الخدمات، وتدعم رفاه المستخدمين، وتخفض من التكاليف طويلة الأمد

الإطار الثلاثي للاستدامة في المكتبات

إن تحقيق مفهوم "المكتبات الخضراء" بصورة شاملة لا يمكن أن يُختزل في الجوانب البيئية الشكلية، كتصميم المباني باستخدام مواد مستدامة أو تبني أنظمة توفير الطاقة فقط، بل يتطلب تبنّي نهجٍ استراتيجي متكامل يُعنى بكافة جوانب العمل المكتبي. ويستند هذا النهج إلى إطار "الخط الثلاثي الأساسي(Triple Bottom Line) "، الذي يُعد نموذجاً شاملاً لتقييم الأداء المؤسسي، ويرتكز على تحقيق التوازن بين ثلاثة أبعاد مترابطة: الحوكمة البيئية، العدالة الاجتماعية، والجدوى الاقتصادية. ويُسهم هذا النموذج في تعزيز قدرة المكتبات على إحداث تأثير فعّال في مجتمعاتها، من خلال معالجة القضايا البيئية والاجتماعية والاقتصادية بصورة متزامنة ومنسجمة. ويقتضي تبنّي هذا الإطار أن تتجاوز جهود الاستدامة النطاق البنيوي للمكتبات، لتشمل كذلك السياسات التشغيلية، والبرامج المجتمعية، وآليات التمويل، وأنماط التفاعل مع الشركاء المحليين. فالمكتبة المستدامة هي التي تنسج استراتيجياتها استناداً إلى فهم عميق للتكامل بين استدامة الموارد الطبيعية، وتمكين العدالة الاجتماعية، وتحقيق الكفاءة الاقتصادية (Rathor & Saxena, 2020; Sadeeq & Zeebaree, 2021).

وفي ظل تزايد الاهتمام العالمي بأجندة أهداف التنمية المستدامة(SDGs) ، بات من الضروري أن تطوّر المكتبات أدوات تقييم موضوعية لقياس أثرها في هذه المجالات، وتوثيق مدى التزامها بمعايير الاستدامة. وفي هذا السياق، برز مؤشر **تقدّم استدامة البيئة في المكتبات** (Library Environmental Sustainability Progress Index - LESPI) بوصفه أداة تحليلية مرجعية، تهدف إلى تقويم مدى امتثال المكتبات لأبعاد الاستدامة الثلاثة وفقاً لإطار الخط الثلاثي الأساسي. ويتيح هذا المؤشر للمؤسسات المكتبية فرصة لتحديد مواقع التحسين، وتعزيز المساءلة، ومواءمة سياساتها مع متطلبات التنمية المستدامة بصورة منهجية ومستندة إلى معايير كمية ونوعية دقيقة.

يشكّل LESPI أداة قياس نوعية تهدف إلى تعزيز قدرة المكتبات على رصد أدائها في المحاور الثلاثة للاستدامة: البيئية، الاجتماعية، والاقتصادية. وقد طوّر هذا المؤشر الباحث (Aytac, 2017) من خلال تحليل أهداف التنمية المستدامة الـ ١٧ و١٦٩ هدفاً تفصيلياً، واستخلاص ٤٦ هدفاً ذات صلة مباشرة بعمل المكتبات. ويُبني المؤشر على مبدأ التقييم الكمي والنوعي، حيث يُمكّن إدارات المكتبات من تكوين "درجة مركبة" تُمثل التقدم في الاستدامة ضمن كل محور، إضافة إلى تقدير الأداء العام للمكتبة مقارنة بمثيلاتها.

تم تجريب المؤشر مبدئياً في مكتبة جامعية بولاية نيويورك، وبيّنت النتائج قابليته للتطبيق العملي، مع توصية الباحث بتوسيعه ليشمل مكتبات عامة مختلفة من حيث الحجم والنطاق، بهدف تعزيز موثوقية المؤشر كمقياس معياري قابل للتعميم .(Aytac, 2017) ومن أبرز الجوانب التي يقيسها LESPIما يلي:

- **في البعد البيئي** :يقيّم المؤشر ممارسات إدارة الطاقة والمياه، واستخدام المواد الصديقة للبيئة، وتقليل النفايات.
- **في البعد الاجتماعي** :يركّز على العدالة في الوصول إلى الخدمات، وتمكين المجتمعات، وبرامج التعليم والتوعية البيئية.
- **في البعد الاقتصادي** :يُقيّم كفاءة الإنفاق، وتنويع مصادر التمويل، واستدامة العمليات التشغيلية.

في جانب الحوكمة البيئية، يمكن للمكتبات أن تلعب دوراً رائداً في تقليل الأثر البيئي عبر اعتماد مبانٍ خضراء، وتطبيق نظم إدارة الطاقة، وتبني سلوكيات مستدامة بين العاملين والمرتادين. وقد أوصت فرقة العمل الخاصة بالاستدامة التابعة لجمعية المكتبات الأمريكية (ALA) باعتبار الاستدامة قيمة جوهرية في العمل المكتبي، ودعت إلى تمكين المكتبات للقيام بدور "المحفز والمربط والميسر" للتحول البيئي داخل المجتمعات المحلية (Tanner, Aldrich, Antonelli, & Ho, 2019).

أما في بعد العدالة الاجتماعية، فإن المكتبات تتحمل مسؤولية ضمان وصول جميع أفراد المجتمع إلى خدماتها بشكل منصف، مع تقديم برامج خاصة تدعم الفئات المهمشة وتُعزز الشمولية الاجتماعية. وقد أظهرت الأبحاث أهمية دمج مؤشرات الاستدامة الاجتماعية في عمل المكتبات، بما يشمل مفاهيم مثل إمكانية الوصول، والموثوقية، والمرونة في تقديم الخدمات، والتي يمكن تصنيفها وفقاً لهرم ماسلو للاحتياجات الإنسانية (Liner, deMonsabert, & Morley, 2012). كما بيّن باحثون أن النهج المتكامل الذي يربط بين العدالة الاجتماعية والحماية البيئية والفعالية الاقتصادية أكثر فاعلية في مواجهة التحديات المجتمعية، خصوصاً في فترات الأزمات والكوارث.(Peterson, 2016)

فيما يتعلق بالجدوى الاقتصادية، لا تسعى المكتبات لتحقيق أرباح مالية، بل تركّز على تعزيز الكفاءة في استخدام الموارد وضمان استمرارية الخدمات. ويتحقق ذلك من خلال تنويع مصادر التمويل، وتبني ممارسات إدارية ذكية، والاستثمار في الابتكار والتكنولوجيا. يشير Slaper و Hall (2011) إلى أن إطار الخط الثلاثي الأساسي يوفر أداة قياس شاملة تساعد المؤسسات على مراقبة أدائها في الأبعاد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، ما يتيح تحسين القرارات الاستراتيجية والتنفيذية.

لا تكمن أهمية LESPI فقط في قياس الأداء، بل في كونه أداة لتحفيز التغيير المؤسسي، إذ يسمح لمؤسسات المكتبات بمراجعة خططها الاستراتيجية والسياسات التشغيلية بناءً على نتائج القياس، ما يعزز من شفافيتها، ومساءلتها، وتوجهها المستدام. ومن خلال هذا المؤشر، يمكن القول إن المكتبات باتت تملك أداة عملية لترجمة أهداف التنمية المستدامة إلى خطوات ملموسة، وتحديد الفجوات وتوجيه التحسينات، مما يعزز دورها كمؤسسات مجتمعية فاعلة في تحقيق الاستدامة البيئية والاجتماعية والاقتصادية.

بالتالي، فإن تطبيق نهج Triple Bottom Line في إدارة المكتبات لا يضمن فقط الحفاظ على البيئة أو تحسين الخدمات، بل يسهم في بناء مكتبات مستدامة ترتكز على قيم العدالة، والشراكة

المجتمعية، والاستمرارية الاقتصادية، مما يجعلها جزءاً فاعلاً في تحقيق التنمية المستدامة ومن هذا المنطلق، تستطيع المكتبات المستدامة أن تلعب دوراً فعّالاً في دعم الاقتصاد المحلي، من خلال برامج تنموية تعزز ريادة الأعمال، وتُشجع على التحول الرقمي، وتُسهم في تنمية المهارات المهنية، مما يرسخ مكانة المكتبة كمنصة فاعلة في دعم التنمية المستدامة المجتمعية.

التقنيات البيئية المستخدمة في المكتبات الخضراء

في إطار سعي المكتبات إلى تحقيق مستويات متقدمة من الاستدامة البيئية والاقتصادية، لجأت العديد من المؤسسات المكتبية حول العالم إلى اعتماد تقنيات بيئية متقدمة، تُمكنها من خفض استهلاك الموارد، وتقليل الأثر البيئي الناتج عن العمليات التشغيلية، دون الإخلال بجودة الخدمات المقدمة. وتمثل هذه التقنيات العمود الفقري للبنية التحتية الذكية للمكتبة الخضراء، حيث تدمج ما بين الحس الهندسي، والكفاءة التشغيلية، والممارسات المستدامة.

وفيما يلي عرض لأهم هذه التقنيات:

- تقنيات تحسين كفاءة الطاقة

تُعد كفاءة الطاقة أحد المرتكزات الجوهرية لتحقيق الاستدامة في تصميم وتشغيل المباني، ولا سيما في المؤسسات ذات الاستخدام اليومي المكثف مثل المكتبات. ويتجسد ذلك في الحد من استهلاك الطاقة لأنظمة الإضاءة والتدفئة والتهوية وتكييف الهواء(HVAC) ، من خلال دمج تقنيات ذكية تشمل أنظمة التحكم المركزي، وأجهزة استشعار الحركة، والبرمجة الزمنية التلقائية لتشغيل وإيقاف المعدات. وفي هذا السياق، تمثل تجربة مكتبة فانكوفر العامة في كندا نموذجاً رائداً يُحتذى به، حيث نُفذت سلسلة من التدخلات التقنية لتحسين الكفاءة الطاقية. من أبرزها، تركيب نظام تهوية متطور يعتمد على مضخات حرارية ومعدات لاسترجاع الطاقة، الأمر الذي ساهم في تقليل الانبعاثات وتحسين الراحة البيئية داخل المبنى.(Canada.ca, 2024) كما جرى اعتماد الإضاءة الطبيعية إلى جانب نظام طاقة شمسية يتألف من ٥٢ لوحاً شمسياً، تولّد ما يقارب

١٦,٥٠٠ كيلوواط سنوياً، تُستخدم لتشغيل وحدات الإضاءة LED في الطابق التاسع، مما يدعم تقليل استهلاك الكهرباء من الشبكة الرئيسية .(Vancouver Public Library, n.d.) ونتيجة لهذه الإجراءات المستدامة، انخفض استهلاك الطاقة بنسبة تُقدّر بـ١١,١%، وانخفضت انبعاثات غازات الدفيئة بما يقارب ١٦٧ طناً سنوياً، وهو ما يُبرز الدور الحيوي للمكتبات في تبني ممارسات تشغيلية صديقة للبيئة ومجدية اقتصادياً.(Canada.ca, 2024)

- الإضاءة بتقنية**LED** - كفاءة طاقية وأمان بيئي في المكتبات

تُعد مصابيح LED - الديودات الباعثة للضوء - من التقنيات الرائدة في مجال الإضاءة المستدامة، لما تتميز به من كفاءة طاقية عالية، وعمر تشغيلي طويل، وأثر بيئي منخفض، مقارنة بمصابيح الإضاءة التقليدية. وتشير الأدبيات العلمية إلى أن أنظمة الإضاءة القائمة على LED قادرة على تقليل استهلاك الكهرباء بنسبة تصل إلى ٨٠% مقارنة بالأنظمة القديمة، مما يُسهم في تقليل التكاليف التشغيلية والانبعاثات الكربونية بشكل متزامن .(Manolescu & Sisak, 2016) من الناحية البيئية، تُعد مصابيح LED أكثر أماناً، حيث لا تحتوي على مواد سامة مثل الزئبق المستخدم في بعض أنواع المصابيح الفلورية، كما أنها تنتج حرارة أقل، مما يُقلل من الضغط على أنظمة التكييف والتبريد في المباني المغلقة مثل المكتبات. كذلك تتيح هذه التقنية التحكم في شدة الإضاءة ودرجة حرارة اللون، وهو ما يسمح بتوفير بيئة بصرية ملائمة لأنشطة القراءة والتعلّم، مع إمكانية تكييف الإضاءة حسب أوقات الاستخدام ومتطلبات المستخدمين (Zhang & Nie, 2011). وفي دراسة ميدانية على مشروع إضاءة باستخدام LED في مكتبة جامعية، أظهرت النتائج أن التحديث الشامل لنظام الإضاءة أدى إلى توفير طاقي سنوي تجاوز ٧٠%، دون التأثير على جودة الإضاءة أو راحة المستخدمين، وهو ما يبرز جدوى هذه التقنية في بيئات تعليمية وثقافية ذات استخدام طويل الأمد .(Martirano et al., 2021) بناءً على ما سبق، فإن اعتماد الإضاءة بتقنية LED لا يوفر فوائد بيئية فقط، بل يمثل أيضاً استثماراً اقتصادياً ذكياً يسهم في رفع كفاءة البنية التحتية للمكتبات الحديثة، ويعزز من توجهها نحو الاستدامة المؤسسية.

الطاقة الشمسية في المكتبات: نحو مبانٍ صفرية الطاقة

تُمثل الطاقة الشمسية أحد الحلول الأكثر فعالية لتحقيق الاستدامة في المباني الثقافية والتعليمية، مثل المكتبات، لما توفره من مصدر نظيف ومتجدد للطاقة. ويتم توظيف الألواح الشمسية في المكتبات لتوليد الكهرباء، أو لتسخين المياه، أو لدعم أنظمة التهوية والتكييف، بما يتناسب مع التصميم الهندسي واحتياجات التشغيل اليومية للمبنى. ويُسهم اعتماد هذه التقنية في تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، وخفض الانبعاثات الكربونية، وتحقيق وفورات مالية تشغيلية على المدى الطويل.

وقد أظهرت الدراسات أن المكتبات التي تعتمد على الطاقة الشمسية تنخرط ضمن مفهوم المباني صفرية الطاقة(Net-Zero Energy Buildings - NZEBs) وهي المباني التي تستهلك سنوياً قدراً من الطاقة يعادل ما تُنتجه من مصادر متجددة داخل الموقع. ويُعد هذا النهج من الأساليب المعمارية الرائدة عالمياً في مواجهة التغير المناخي وتعزيز الاستدامة المؤسسية. على سبيل المثال، تُشير نتائج تحليل شامل لمجموعة من مشاريع NZEB حول العالم إلى أن الطاقة الشمسية، خاصة الطاقة الكهروضوئية، تُعد المكون الأساسي الذي لا غنى عنه لتحقيق توازن الطاقة في هذه المباني، بما في ذلك المباني غير السكنية مثل المكتبات .(Musall et al., 2010)

كما يُوضح مفهوم NZEB أنه لا يكفي فقط توليد الطاقة المتجددة، بل يجب أن يترافق ذلك مع تحسين كفاءة الطاقة من خلال التصميم الذكي، وتقليل الطلب على الطاقة في أنظمة التبريد والتدفئة والإضاءة. هذا التوافق بين تقليل الاستهلاك وتعزيز الإنتاج المتجدد هو ما يُحقق القيمة الحقيقية للطاقة الشمسية داخل منظومة المكتبات المستدامة .(Shayan, 2020) ويوصي الخبراء بأهمية دمج تقنيات الطاقة الشمسية منذ المراحل الأولى لتصميم المكتبة، مع استخدام أدوات المحاكاة الطاقية، واختيار أنظمة تركيب فعالة مثل الألواح المدمجة على الأسطح، أو الأنظمة الهجينة الكهروضوئية-الحرارية، لتحقيق أفضل أداء ممكن.

أنظمة الثرموستات الذكية وأجهزة الاستشعار البيئي

تُعد أنظمة الثرموستات الذكية وأجهزة الاستشعار البيئي من الحلول المحورية التي تسهم في تحسين جودة البيئة الداخلية داخل المكتبات المستدامة، مع تحقيق كفاءة تشغيلية عالية لأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء .(HVAC) تعتمد هذه الأنظمة على شبكات من المجسات المتطورة التي تقوم بقياس مجموعة من المؤشرات البيئية مثل درجة الحرارة، والرطوبة، ومستويات الإضاءة، وتركيز ثاني أكسيد الكربون(CO_2) ، والجسيمات الدقيقة(PM2.5) ، والمركبات العضوية المتطايرة(VOCs) ، ثم تقوم بتحليل هذه البيانات لضبط أداء أنظمة التكييف والتهوية تلقائياً وفق الحاجة الفعلية.

تشير الدراسات إلى أن اعتماد أنظمة الثرموستات الذكية المرتبطة بأجهزة استشعار موزعة في المبنى يُمكن أن يؤدي إلى تحقيق وفورات كبيرة في استهلاك الطاقة الكهربائية، دون المساس بجودة الراحة الحرارية. فقد أظهرت إحدى الدراسات التجريبية في بيئة سكنية أن استخدام ثرموستات ذكي مدعوم بحساسات حرارة وحركة في كل منطقة أدى إلى تغيير واضح في أنماط درجات الحرارة الداخلية، وتحقيق توفير في الكهرباء مع تحسين التحكم في البيئة الداخلية بشكل ديناميكي .(Oh, Haberl, & Baltazar, 2020)

كما تُشير مراجعة حديثة إلى أن دمج هذه الأنظمة مع الذكاء الاصطناعي والتحكم التنبؤي يمكن أن يُعزز بشكل كبير من الأداء التشغيلي، من خلال التنبؤ باحتياجات الطاقة وتحسين كفاءة النظام استناداً إلى البيانات اللحظية وسلوك المستخدمين .(Sahu et al., 2023)وقد تم اختبار هذا النوع من الأنظمة في منشآت تعليمية مثل مباني الحرم الجامعي في إيطاليا، حيث أثبتت النتائج قدرة الأنظمة الذكية القائمة على التحكم التنبؤي في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين الراحة البيئية بالتوازي .(Carli et al., 2020)

وفي سياق التصميم المعماري المستدام، طبقت مكتبة جامعة سنغافورة الوطنية نظام تصميم مبتكر يدمج النباتات الطبيعية في البنية المعمارية الداخلية، مما ساعد في تحسين جودة الهواء

وخفض درجات الحرارة دون الحاجة إلى تكييف صناعي. ويُعد هذا التصميم من أبرز الأمثلة العالمية على المكتبات "صفرية الطاقة"، أي التي تولد من الطاقة الشمسية أكثر مما تستهلك، مما يجعلها مثالاً عملياً لتكامل التكنولوجيا والاستدامة في فضاء المكتبة الحديثة (Anand et al., 2019; Rashid et al., 2019).

الوظائف التقنية لأنظمة الثرموستات الذكية وأثرها في بيئة المكتبات

تُعتبر أنظمة الثرموستات الذكية إحدى الركائز الأساسية للتحكم البيئي في المباني المستدامة، وخصوصاً في المكتبات، التي تتطلب بيئة داخلية دقيقة تتوافق مع احتياجات المستخدمين والمواد الثقافية المحفوظة. تمتاز هذه الأنظمة بقدرتها على الاستجابة البيئية الفورية والتعلم التكيفي، حيث تجمع بين تقنيات الاستشعار البيئي، والمعالجة الحسابية، والتنفيذ الآلي في نظام موحد وذكي (Mistry, 2022). ما يسمح بضبط متغيرات البيئة الداخلية للمكتبة وفقاً لمعطيات حية ومتغيرة.

تحليل بيانات الحساسات البيئية

المرحلة الأولى في عمل الثرموستات الذكي تتمثل في جمع البيانات البيئية من مجموعة متنوعة من الحساسات الموزعة داخل المبنى. تشمل هذه الحساسات: قياس درجات الحرارة (الداخلية والخارجية)، الرطوبة النسبية، شدة الإضاءة، تركيز ثاني أكسيد الكربون(CO_2) ، المركبات العضوية المتطايرة(VOCs) ، والجسيمات الدقيقة(PM2.5) ، بالإضافة إلى مجسات الحركة لتحديد معدل الإشغال في مختلف المناطق.(Oh, Haberl, & Baltazar, 2020)

تُستخدم هذه البيانات لرسم أنماط الاستخدام البيئي، مثل ساعات الذروة، أو الفترات التي تشهد انخفاضاً في التهوية أو الإضاءة الطبيعية، مما يُمكّن النظام من التنبؤ باحتياجات الطاقة بشكل استباقي. هذا التحليل التنبؤي القائم على البيانات (Predictive Analytics) يساهم في تحسين الراحة الداخلية مع تقليل الهدر الطاقي.(Carli et al., 2020)

تنفيذ استراتيجيات التحكم التنبؤية

استناداً إلى البيانات البيئية وتحليل الأنماط، يُطبّق الثرموستات الذكي خوارزميات تحكم متقدمة)مثل التحكم التنبؤي(Model Predictive Control - MPC ، تعمل على تفعيل أو تعديل أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) بطريقة ديناميكية. وتشمل هذه الاستراتيجيات التشغيل والإيقاف التلقائي للمعدات، وضبط درجة الحرارة والرطوبة، وتوزيع تدفق الهواء بناءً على إشغال المساحات.(Sahu et al., 2023) توفر هذه الأنظمة توفيراً في الطاقة يتراوح بين ٢٠% إلى ٤٣% وفقاً لدراسات ميدانية، مع تحسين واضح في مؤشرات الراحة الحرارية وتقليل التقلبات البيئية داخل المكتبة.(Higuera et al., 2014)

التكامل الشبكي والتحكم المركزي

تتميز أنظمة الثرموستات الذكية بقدرتها على الاتصال والتكامل مع الأنظمة الأخرى في المبنى، مثل أنظمة الإضاءة الذكية، وإدارة الطاقة، وأنظمة الأمان، عبر بروتوكولات اتصال مثل BACnet، Zigbee، أو Wi-Fi. يُمكّن هذا التكامل من خلق شبكة موحّدة تُدار من خلال منصة مركزية تُوفر رؤية شاملة لأداء المبنى، مما يُسهل اتخاذ القرارات السريعة وتحليل السجلات التاريخية.(Vasseur & Dunkels, 2010) كما تتيح هذه الأنظمة لمسؤولي التشغيل استخدام لوحات تحكم رسومية لعرض البيانات البيئية الفورية، ومراقبة الحالة، وإجراء تعديلات يدوية عند الحاجة، وهو ما يعزز من الشفافية التشغيلية والحوكمة الذكية للطاقة في المكتبة.

التحكم الفعلي من خلال المحركات والمشغلات

يتصل الثرموستات الذكي فعلياً بمكونات أنظمة التكييف والتهوية والتدفئة عبر محركات وصمامات وأذرع تشغيل إلكترونية، تقوم بتنفيذ الأوامر الواردة من وحدة التحكم. تشمل هذه العمليات: فتح أو إغلاق فتحات الهواء، تغيير سرعة المراوح، ضبط اتجاه تدفق الهواء، أو تعديل درجة حرارة منطقة محددة داخل المبنى بحسب معدل الاستخدام فيها.(Mistry, 2023) تساعد

هذه الخاصية في تقليل التباينات البيئية بين المناطق، وتحسين إدارة المساحات المشتركة داخل المكتبة، مثل قاعات القراءة، وغرف الاجتماعات، والمكاتب الإدارية.

تعزيز جودة البيئة الداخلية وتقليل التكاليف

إلى جانب دورها في التحكم البيئي، تؤدي أنظمة الثرموستات الذكية دوراً مهماً في تحقيق بيئة صحية ومريحة، مما ينعكس إيجابياً على تجربة المستخدمين داخل المكتبة، ويُقلل من الشكاوى المتعلقة بالبرودة أو الحرارة أو سوء التهوية. وقد أثبتت الدراسات أن تطبيق هذه الأنظمة يُسهم في تحسين الرضا الوظيفي، وزيادة فاعلية الموظفين، وتقليل التكلفة التشغيلية للطاقة بنسب قد تصل إلى ٣٥% سنوياً .(Ayan & Turkay, 2018) كما تشير نتائج دراسة تحليلية حديثة إلى أن تكامل هذه الأنظمة مع الذكاء الاصطناعي يسمح ببناء نماذج حرارية مخصصة لكل مبنى، مما يُعزز من دقة التنبؤ ويقلل الأثر البيئي لتشغيل الأنظمة الذكية .(Boubouh et al., 2023) من الناحية الأخلاقية والمهنية، فإن دمج هذه التقنيات يمثل التزاماً واضحاً من المكتبات تجاه قضايا التغير المناخي، وجودة البيئة، والحوكمة المستدامة، ما يجعلها نموذجاً يحتذى به في قطاع البنى الثقافية.(Pangail, 2015; Alhamed et al., 2022; Kozlovska et al., 2023)

التحديات المرتبطة بتطبيق الحلول التقنية الذكية في المكتبات الخضراء

على الرغم من المزايا البيئية والاقتصادية والاجتماعية التي تقدمها الحلول التقنية الذكية في إطار المكتبات الخضراء، إلا أن تبني هذه الأنظمة لا يخلو من مجموعة من التحديات المؤسسية، والفنية، والمالية، التي قد تعيق التطبيق الفعلي أو تؤخر عملية التحول نحو نموذج المكتبة المستدامة. وتتمثل هذه التحديات في عدة محاور مترابطة، تتطلب تنسيقاً مؤسسياً عالي المستوى، وتوفر إرادة تنظيمية واستثمارية تتجاوز النواحي التقنية إلى أبعاد استراتيجية أوسع.

ارتفاع التكاليف الرأسمالية الأولية

يُعد أحد أبرز التحديات التي تواجه المكتبات في سعيها لتبني الحلول الذكية هو الارتفاع الملحوظ في التكاليف الرأسمالية المترتبة على تركيب وتفعيل هذه الأنظمة. فأنظمة إدارة الطاقة، والحساسات البيئية، والثرموستات الذكية، والألواح الشمسية، تتطلب بنية تحتية متقدمة واستثمارات أولية مرتفعة نسبياً، مما يجعل القرار المالي حاسماً في تحديد مدى إمكانية التنفيذ، خاصة في المكتبات الواقعة ضمن المؤسسات العامة أو تلك التي تعمل بميزانيات محدودة وعلى الرغم من أن العائد الاستثماري طويل الأجل لهذه الأنظمة مرتفع، من حيث تقليل النفقات التشغيلية وتعزيز الكفاءة الطاقية، إلا أن غياب موارد تمويل مخصصة أو خطط دعم حكومية قد يُبقي هذه التقنيات بعيدة المنال عن كثير من المؤسسات المكتبية، لا سيما في الدول النامية.

نقص الكفاءات البشرية المتخصصة

يتطلب تطبيق الأنظمة التقنية المتقدمة وجود كفاءات بشرية مدرّبة، قادرة على تشغيل هذه التقنيات، وصيانتها، وتفسير البيانات الناتجة عنها بشكل سليم. ومع ذلك، تعاني العديد من المؤسسات المكتبية من ضعف في توفر هذه الكفاءات، نتيجة عدم إدماج المهارات التقنية ضمن الهيكل الوظيفي التقليدي للمكتبات، أو نتيجة لضعف برامج التدريب المهني الموجه نحو التكنولوجيا المستدامة .(Rather & Saxena, 2020) ويؤدي هذا النقص في الموارد البشرية المتخصصة إلى تحديات في استدامة التشغيل، وزيادة الاعتماد على الشركات الخارجية، مما يرفع التكاليف ويُقلل من قدرة المؤسسة على التحكم الداخلي بأنظمتها.

غياب الأطر المؤسسية والسياسات الداعمة

رغم تنامي الوعي بمبادئ الاستدامة البيئية ودور التكنولوجيا الذكية في دعمها، **لا تزال** الفجوة المؤسسية تمثل أحد أكبر العوائق أمام التحول الفعلي نحو نموذج المكتبة الذكية والخضراء. إذ تفتقر العديد من المؤسسات المكتبية إلى سياسات تنظيمية واضحة تدمج الاستدامة البيئية كعنصر

جوهري في رؤيتها ورسالتها المؤسسية. وغالباً ما تغيب الوثائق الإجرائية والاستراتيجيات التشغيلية التي تُوجه قرارات البناء، والتجديد، والصيانة بما يتماشى مع متطلبات الكفاءة البيئية (Sadeeq & Zeebaree, 2021). يؤدي هذا النقص في التوجيه المؤسسي إلى وجود مشاريع بيئية جزئية أو موسمية، تفتقر إلى الاستمرارية والتكامل مع بنية الإدارة والتخطيط الاستراتيجي. كما يعوق غياب السياسات الملزمة قدرة المكتبات على قياس التقدم المحقق، أو مقارنة أدائها بمعايير الاستدامة العالمية. ويؤكد Ajani et al. (2024) أن التحول نحو مكتبات ذكية ومستدامة يتطلب أطراً تنظيمية شاملة تُراعي ليس فقط الجوانب التقنية، بل أيضاً الجوانب السلوكية والتنظيمية، حيث تلعب السياسات المؤسسية دوراً محورياً في دعم الابتكار وتحقيق الاستدامة على المدى الطويل. وتشير الأدبيات إلى أن التبني الفعال للتقنيات الذكية يتطلب قيادة تنظيمية واعية، تدعم التغيير الثقافي داخل المؤسسة المكتبية، وتوفر الموارد والكوادر البشرية المؤهلة. وفي ظل غياب هذا الدعم المؤسسي، تُصبح مكتبات كثيرة رهينة قرارات إدارية ارتجالية، أو سياسات تمويل مؤقتة، ما يحول دون تحقيق التحول الرقمي والبيئي المنشود (Aslam & Jabeen, 2025). ويؤكد الخبراء أن وضع سياسات شاملة يساهم في ترسيخ الاستدامة كقيمة مؤسسية، ويُحولها من مجرد مبادرة بيئية إلى ثقافة تشغيلية متكاملة، تبدأ من مرحلة التصميم المعماري للمكتبة وتمتد إلى آليات التقييم والتطوير والتفاعل مع المجتمع المحلي (Jerkov et al., 2015).

مقاومة التغيير المؤسسي في المكتبات الذكية

رغم المزايا البيئية والاقتصادية التي توفرها تقنيات المكتبات الذكية، إلا أن المقاومة الداخلية للتغيير المؤسسي تظل من أبرز التحديات التي تعيق تبني هذه التقنيات. وغالباً ما تعود هذه المقاومة إلى مشاعر القلق من تعقيد الأنظمة الجديدة، أو التخوف من أن تؤدي الأتمتة إلى تقليص دور العاملين، أو إلى نقص الوعي بالمنافع طويلة الأجل لهذه التحولات التكنولوجية (Rahman et al., 2024).

تشير الأدبيات إلى أن مقاومة التغيير ليست سلوكاً سلبياً بالضرورة، بل هي استجابة طبيعية ناتجة عن غياب التهيئة المعرفية والنفسية للعاملين. وقد وجدت دراسة شاملة في المكتبات الأكاديمية الأردنية أن مقاومة الموظفين كانت العائق الأكبر أمام تطبيق الخدمات الذكية، حيث عبّر العديد من الموظفين عن عدم الثقة بالأنظمة الجديدة، والخوف من فقدان السيطرة على الإجراءات المعتادة، إضافةً إلى محدودية فرص التدريب والتطوير الوظيفي المرتبطة بالتقنيات الحديثة (Hamad et al., 2022).

ولعل غياب برامج التثقيف المؤسسي، والتدريب التفاعلي المستمر، يُفاقم من حدة هذه المقاومة، إذ تظل العديد من المبادرات التقنية معرضة للفشل رغم توافر الموارد التقنية والمادية. وقد أثبتت دراسات عديدة أن التدريب المصمم بناءً على احتياجات الموظفين، وليس فقط على متطلبات التكنولوجيا، يُعد من أبرز الأدوات في تقليل المقاومة وتعزيز قبول التغيير (Spacey, Goulding, & Murray, 2003). فكلما زادت ثقة العاملين بقدرتهم على التعامل مع الأنظمة الجديدة، زادت احتمالية نجاح تبني تلك الأنظمة وتحقيق أهداف التحول المؤسسي.

ولذلك، تؤكد الأدبيات الحديثة على أهمية بناء ثقافة مؤسسية داعمة للابتكار والتعلم المستمر، تبدأ من مستوى الإدارة العليا، وتمتد إلى إشراك جميع الموظفين في عمليات صنع القرار، وتوفير التدريب التفاعلي الذي يُراعي الفروقات الفردية في الأساليب التعليمية، وهو ما يُشكل حجر الأساس في تجاوز حاجز المقاومة المؤسسية.(Spacey, 2003; Rahman et al., 2024)

رؤية استثمارية طويلة الأمد في المكتبات الذكية والخضراء

لا يمكن تحقيق تحول فعّال نحو المكتبات الذكية والخضراء دون رؤية استراتيجية طويلة الأمد تُدمج فيها التكنولوجيا البيئية ضمن سياسات التمويل، وتربط بين الجدوى الاقتصادية والاستدامة البيئية والاجتماعية. إذ لا يُعد تبني الحلول الذكية خطوة كافية في حد ذاتها إذا ظلت حبيسة التجريب أو التطبيق الجزئي، بل يتطلب الأمر إدماج هذه المبادرات في إطار مؤسسي شامل يضمن الاستمرارية والاستفادة القصوى من الاستثمار.(Ajani et al., 2024; Khan, 2025)

تُبرز الدراسات أهمية اعتماد نهج استثماري يمتد عبر سنوات متعددة، ويستند إلى خطط تمويل مرنة تشجع المكتبات على خوض مشاريع الذكاء البيئي، مع تقليل المخاطر المرتبطة بها. وفي هذا الإطار، تُعد الشراكات بين القطاعين العام والخاص (Public-Private Partnerships - PPPs) أحد النماذج التمويلية الفعالة، والتي أظهرت نجاحاً في قطاعات مماثلة مثل المستشفيات الذكية، حيث أتاحت هذه الشراكات تحقيق التوازن بين الكفاءة التشغيلية والعائد الاجتماعي طويل الأجل، عبر آليات تمويل مبتكرة مثل الدفع القائم على النتائج (Results-Based Financing - RBF) (Visconti et al., 2019).

وتشير منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية (OECD) إلى أن تحفيز الاستثمارات طويلة الأجل في البنى التحتية الذكية، ومنها المؤسسات الثقافية، يتطلب إطاراً تنظيمياً واضحاً، وحوافز ضريبية، وآليات مشاركة مخاطرة تُمكن القطاع الخاص من لعب دور تمويلي وتشغيلي فعال، مع ضمان حماية المصلحة العامة.(Wehinger, 2011)

كما أن التحول الذكي للمكتبات لا يجب أن يُفصل عن دوره المجتمعي، بل يجب أن يُترجم إلى مكاسب تنموية محلية تعزز من دور المكتبة كمركز بيئي، تعليمي، وتكنولوجي متكامل. ومن هنا، تبرز أهمية تطوير سياسات دعم حكومية تركز على البرامج التحفيزية والاستثمارات المستدامة، بما في ذلك منح المباني الصديقة للبيئة أولوية في التمويل، وربط الأداء البيئي للمكتبة بإمكانية الوصول إلى موارد إضافية.(Cullen et al., 2020)

باختصار، فإن بناء مكتبة ذكية وخضراء ليس مجرد مشروع تقني، بل هو استثمار اجتماعي واقتصادي طويل الأمد يتطلب تنسيقاً بين التخطيط المؤسسي، وتعبئة الموارد المالية، وإشراك الشركاء من القطاعين العام والخاص الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة التشغيل وترشيد استهلاك المياه في المكتبات الخضراء.

الذكاء الاصطناعي في المكتبات الذكية والخضراء: نحو كفاءة تشغيلية واستدامة ذكية

مع تسارع التحول الرقمي في القرن الحادي والعشرين تحت مظلة "المدن الذكية"، برز الذكاء الاصطناعي (AI) بوصفه تقنية محورية تُعيد تشكيل الطريقة التي تُدار بها المجتمعات في مجالات الطاقة والموارد والخدمات. **يُعد** الذكاء الاصطناعي (AI) ركيزة مركزية في بنية التحول الرقمي الذي تشهده المؤسسات المعرفية، خاصةً المكتبات، وبمثابة نموذج قوي لإعادة تصور المكتبات كمؤسسات مستدامة، متجاوبة، وذكية، حيث يُسهم في تعزيز الاستدامة البيئية وتحقيق الكفاءة التشغيلية من خلال أنظمة التنبؤ والتحكم الذكي. وتُمكن خوارزميات الذكاء الاصطناعي المكتبات من تحليل البيانات البيئية بشكل لحظي، مما يسمح باتخاذ قرارات تشغيلية آنية لأنظمة الإضاءة والتكييف والتهوية والمياه، وبالتالي تقليل استهلاك الموارد دون المساس بجودة الخدمات المقدمة .(Şerban & Lytras, 2020) وبينما تصبح الأنظمة الحضرية أكثر ترابطاً ورقمنة واعتماداً على البيانات، لم يعد الذكاء الاصطناعي مجرد توجه تكنولوجي، بل أصبح محفزاً منهجياً لاتخاذ القرار في الوقت الفعلي، وتحقيق الكفاءة التشغيلية، وتخصيص الموارد بشكل ديناميكي. وفي ظل هذا النموذج المتطور، تتمتع المكتبات—التي تقع في قلب النسيج الحضري كمراكز معرفية ومرتكزات مجتمعية—بفرصة فريدة ومسؤولية واضحة لتبني تقنيات المدن الذكية، وخاصة الذكاء الاصطناعي، بما يتماشى مع الأهداف البيئية، وتحسين تجربة المستخدم، وتعزيز صمود المؤسسة. بالتالي، فإن إدماج الذكاء الاصطناعي في المكتبات الخضراء لا يُمثل فقط نقلة نوعية في الإدارة التقنية، بل يُعزز من مكانة المكتبة كمؤسسة بيئية رقمية تتفاعل بكفاءة مع تحديات الطاقة والمناخ والمعرفة في آنٍ واحد.

الاستخدامات الوظيفية للذكاء الاصطناعي في المكتبات الذكية/ الخضراء

استناداً إلى نجاح الذكاء الاصطناعي في الأنظمة الحضرية، يمكن للمكتبات الذكية اعتماد مجموعة واسعة من الوظائف القائمة على الذكاء الاصطناعي:

- **إدارة الطاقة التنبؤية** :تماماً كما يُستخدم الذكاء الاصطناعي في مباني المدن الذكية للتنبؤ باستهلاك الطاقة وضبط الأنظمة بشكل ديناميكي(Feng et al., 2024) وتُظهر الأبحاث أن استخدام الذكاء الاصطناعي في البنية التحتية للمكتبات الذكية يُمكن أن يؤدي إلى خفض استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى ٤٠%، وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بما يصل إلى ٩٠%، خاصة عند دمجه مع مصادر الطاقة المتجددة وسياسات الكفاءة الطاقية (Feng et al., 2024) كما يمكن للمكتبات تطبيق أنظمة إدارة مبانٍ ذكية مدعومة بالذكاء الاصطناعي للتحكم في التكييف، والإضاءة، ودمج الطاقة المتجددة بناءً على إشغال المبنى وظروف الطقس. تقنيات التعلم الآلي والتنبؤ بالحمل الطاقي، تُمكّن المكتبات من التفاعل مع تغيرات البيئة الداخلية والخارجية بكفاءة أعلى من النظم التقليدية. وتُظهر التجارب أن استخدام التحكم التنبؤي القائم على الذكاء الاصطناعي يُحسن أداء أنظمةHVAC ، ويُقلل الأعطال، ويرفع من عمر المعدات، ويُعزز من راحة المستخدمين .(Farzaneh et al., 2021)
- **تحسين الموارد والأتمتة** :يمكن للمكتبات محاكاة أتمتة المدن الذكية باستخدام الذكاء الاصطناعي لجدولة الصيانة، وأتمتة برامج فرز النفايات وإعادة التدوير، وإدارة استخدام المياه بما يضمن تقليل البصمة البيئية.
- **خدمات متمركزة حول المستخدم** :مستوحاة من التخصيص الذكي في الخدمات العامة الحضرية، يمكن للمكتبات استخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل سلوك المستخدم وتقديم خدمات متكيفة مثل توصيات القراءة الشخصية، ومساعدين افتراضيين للإجابة على الاستفسارات، وتحسين توزيع المساحات حسب الاستخدام المكاني والزماني، وضبط الإضاءة أو الضوضاء تلقائياً.(Ramachandran, 2024; Preethi, 2024)
- **الاستشعار البيئي والمراقبة** :تستخدم المدن الذكية الذكاء الاصطناعي لمعالجة بيانات الحساسات من إنترنت الأشياء (IoT) لمراقبة جودة الهواء أو الظروف الحرارية. ويمكن ترجمة هذا في المكتبات إلى الحفاظ على ظروف مثالية لراحة المستخدم وحماية المجموعات الورقية. وفي السياق المعماري، تدعم تقنيات الذكاء الاصطناعي تصميم

مكتبات خضراء ذكية منذ المراحل الأولية، من خلال محاكاة الأداء الطاقي، وتحليل الإضاءة الطبيعية، والتنبؤ بأنماط الاستخدام المستقبلي، مما يجعل القرارات التصميمية أكثر استدامة وشمولاً .(Ahmed Al-Luhaibi & Mohmmed, 2024)

- **دعم اتخاذ القرار من أجل الاستدامة** :يمكن للمكتبات تبني أنظمة دعم القرار المدعومة بالذكاء الاصطناعي المشابهة لتلك المستخدمة في الحوكمة الحضرية، مما يساعد في نمذجة الأثر البيئي للقرارات مثل استراتيجيات التجديد أو الشراء الأخضر (Ma, 2024).

فوائد دمج الذكاء الاصطناعي في المكتبات

يمكن أن يؤدي دمج الذكاء الاصطناعي في المكتبات الخضراء إلى فوائد متعددة الأبعاد:

- **الفوائد البيئية** :تُظهر الدراسات أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يقلل من استهلاك طاقة المباني بنسبة تصل إلى ٤٠% وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٩٠% عند دمجه مع مصادر الطاقة المتجددة .(Feng et al., 2024) وتعد هذه التخفيضات ضرورية لتحقيق أهداف الاستدامة مثل شهادة LEED أو المباني صفرية الطاقة.
- **الكفاءة التشغيلية** :يمكن للأنظمة المدعومة بالذكاء الاصطناعي تعزيز الاستجابة وتقليل الأخطاء البشرية في إدارة المرافق، مما يؤدي إلى انخفاض التكاليف التشغيلية وتحسين موثوقية الخدمات.(Farzaneh et al., 2021)
- **تجربة المستخدم وسهولة الوصول** :من خلال معالجة اللغة الطبيعية، وروبوتات المحادثة، والواجهات التكيفية، يمكن للذكاء الاصطناعي democratize الوصول إلى الموارد المعرفية لذوي الاحتياجات الخاصة أو محدودي المهارات القرائية، مما يجعل المكتبة أكثر شمولاً.(Preethi, 2024)

- **التخطيط الاستراتيجي** :يُمكن للذكاء الاصطناعي تمكين المكتبات من استخدام تحليلات البيانات في التخطيط طويل المدى، واستباق اتجاهات الطلب، واحتياجات الاستدامة، ومتطلبات التطوير التكنولوجي.
- **الصمود المجتمعي** :على غرار المدن الذكية التي تستخدم الذكاء الاصطناعي لإدارة الأزمات (مثل انقطاع الكهرباء أو الكوارث المناخية)، يمكن للمكتبات المدعومة بالذكاء الاصطناعي ضمان استمرارية الخدمة وتكون مراكز دعم ومعلومات للمجتمع أثناء الطوارئ.

أزمة المياه والضغط البيئي العالمي

لقد أدى النمو السكاني المتسارع، والتوسع الحضري غير المنضبط، وارتفاع مستويات المعيشة، إضافة إلى التغيرات المناخية، إلى زيادة الضغط على الموارد المائية، وأدى ذلك إلى ظهور ما بات يُعرف عالمياً بـ"أزمة المياه .(Ong et al., 2023) "هذه الأزمة لا تقتصر على ندرة المياه، بل تشمل أيضاً تلوث الموارد المائية، وضعف البنية التحتية للإدارة، والتوزيع غير العادل للمياه، خصوصاً في المجتمعات منخفضة الموارد. ووفقاً لتقارير دولية، تُعد المياه واحدة من الموارد الأكثر تضرراً بفعل تغير المناخ، حيث تتأثر أنماط الأمطار، وتتراجع معدلات التخزين الطبيعي، ما يجعل إدارة المياه تحدياً بيئياً ومؤسسياً على حد سواء (Chellaney, 2011; United Nations, 2021; Pangai et al., 2021; Arsene et al., 2022). في ضوء هذا الواقع، تبرز الحاجة إلى حلول تقنية ذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة، لتحقيق الاستدامة في إدارة الموارد المائية، سواء على المستوى الحضري أو المؤسسي، بما في ذلك بيئة المكتبات الخضراء.

تُظهر الدراسات الحديثة أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يحل محل النماذج الإحصائية التقليدية في مراقبة وتحليل استهلاك المياه، حيث يوفر أدوات تحليلية دقيقة تُسهم في صياغة استراتيجيات أكثر كفاءة واستجابة للمتغيرات البيئية .(Fang et al., 2023) وتقوم تطبيقات الذكاء

الاصطناعي بجمع البيانات من أجهزة استشعار، وتفسيرها باستخدام خوارزميات تعلم الآلة، لتوفير تنبؤات حول الاستهلاك، ورصد التسريبات، وتحسين توزيع المياه بشكل ذكي وتلقائي (Alhendi et al., 2022; Doorn, 2021; Stankovic et al., 2020).

وفيما يتعلق بالمكتبات الخضراء، يُمكن دمج هذه التقنيات ضمن أنظمة الري للمساحات الخضراء المحيطة، وإدارة المياه المستخدمة في التبريد والتهوية، وتشغيل دورات المياه، بما يُحقق وفراً حقيقياً في الاستهلاك ويقلل من الأثر البيئي للمبنى.

تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الري والإدارة في المدن الذكية

تُعد المدن الذكية بيئة خصبة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة الموارد، وخصوصاً المياه. وتُستخدم اليوم أنظمة ري ذكية مزودة بأجهزة استشعار لجمع بيانات الطقس، وخصائص التربة، وأنماط الاستخدام، وتغذيتها في خوارزميات قادرة على تحديد الكميات المثلى من المياه المطلوبة لري النباتات أو تشغيل المبردات، مع تقليل الهدر إلى أدنى حد (Preciado et al., 2019; Kamyab et al., 2023).

ومن أبرز الأمثلة على هذه التطبيقات، ما قامت به مدينة لاس فيغاس الأمريكية، حيث استُخدمت خوارزميات ذكاء اصطناعي للكشف المبكر عن التسريبات داخل شبكة المياه. وقد أدى هذا النظام إلى تقليل الفاقد من المياه بشكل ملحوظ، وتحقيق وفورات مالية وبيئية كبيرة (Rahimi & Ebrahimi, 2022; Richards et al., 2023).

لقد أظهرت التجارب الدولية نجاحاً ملحوظاً في توظيف الذكاء الاصطناعي لتحسين إدارة المياه وتحقيق كفاءة عالية في استهلاكها، مما يعزز من فرص الاستدامة البيئية على مستوى المؤسسات والمجتمعات. ففي أستراليا، تمكّنت البلاد من خفض استهلاك المياه بنسبة تصل إلى ٥٠% بين عامي ٢٠٠٢ و٢٠٠٩، على الرغم من نمو الناتج المحلي الإجمالي بنسبة ٤٠% خلال الفترة نفسها، وذلك بفضل اعتماد أنظمة ذكاء اصطناعي لمراقبة تدفق المياه والتحكم في تشغيل

المضخات وتنظيم التوزيع .(Ashraf, 2022; Takeda et al., 2021) أما في هولندا، فقد أُستخدم الذكاء الاصطناعي لرصد تدفقات المياه في الأنهار ومحطات المعالجة، وتحليل جودتها، مما ساهم في تحسين توزيع المياه وضمان الاستخدام الأمثل للموارد. وفي المملكة المتحدة، ساهمت شبكة SWAN الذكية، التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتوقّع الطلب على المياه والكشف المبكر عن التسريبات، في تقليل الاستهلاك بنسبة بلغت ٢٠ (Santillan Rojas % et al., 2023). كما دعمت أنظمة SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) قدرات متخذي القرار في مراقبة وتحليل بيانات المياه بدقة وفعالية (Krishnan et al., 2022). تعكس هذه التجارب إمكانيات الذكاء الاصطناعي الكبيرة في تحويل نماذج إدارة المياه التقليدية إلى نظم ذكية أكثر استجابة وكفاءة واستدامة.

لا يقتصر دور الذكاء الاصطناعي على إدارة الكميات فقط، بل يمتد إلى مراقبة جودة المياه. يمكن تنفيذ حل قائم على الذكاء الاصطناعي لمراقبة تلوث المياه ببكتيريا *Legionella* من خلال دمج تقنيات التعلم الآلي في أنظمة مراقبة جودة المياه في المباني. تعتمد هذه المقاربة على استخدام بيانات فيزيائية-كيميائية يمكن قياسها بسهولة وبشكل لحظي، مثل درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني(pH) ، والتوصيل الكهربائي(EC) ، والكلور الحر، لتقدير احتمالية وجود الأميبات الحرة *Naegleria fowleri*) و(*Acanthamoeba spp.*، والتي تُعد خلايا مضيفة ضرورية لتكاثر الليجيونيلا. وباستخدام خوارزميات مثل LASSO والشبكات العصبية الاصطناعية (ANN)، يمكن للنموذج الذكي تحليل هذه المؤشرات والتنبؤ بنطاقات تركيز الليجيونيلا بدقة تصل إلى أكثر من ٩٠% في الحالات ذات الخطورة العالية. يُمكّن هذا النظام الجهات المعنية من رصد التلوث بشكل فوري، واتخاذ قرارات سريعة واستباقية دون الحاجة إلى الفحوصات التقليدية المعقدة والباهظة الثمن. وبالتالي، يوفر هذا الحل الذكي أداة فعالة لمراقبة المخاطر البيئية في أنظمة توزيع المياه داخل المباني، ويساهم في تعزيز السلامة الصحية والوقاية من الأمراض المرتبطة بالمياه.(Xu et al., 2024) .

أثبت الذكاء الاصطناعي فعاليته في دعم العدالة البيئية، من خلال تحسين توزيع الموارد في المناطق المهمشة أو ذات البنية التحتية الضعيفة. وقد أظهرت عدة دراسات أن هذه التقنيات يمكن أن تساعد في إدارة الطلب، وتقليل الفاقد، وتوزيع الموارد بعدالة، حتى في حالات الجفاف أو النقص الشديد.(Trajer et al., 2021; Barroso et al., 2023)

وفي السياق المؤسسي، يمكن للمكتبات، من خلال دمج أنظمة الذكاء الاصطناعي في إدارة المياه، أن تصبح نموذجاً تطبيقياً يُحتذى به في المؤسسات الثقافية، حيث تجمع بين الاستدامة التشغيلية والمسؤولية الاجتماعية والبيئية.

تكامل تقنيتي البلوك تشين وإنترنت الأشياء في إدارة المياه داخل المكتبات الخضراء

في السنوات الأخيرة، حققت العديد من الدول الغربية تقدماً ملحوظاً في توظيف تقنية البلوك تشين في إدارة مشاريع المياه، من خلال دمجها مع تطبيقات ذكية تهدف إلى تحسين عمليات التتبع، تقليل نسب الهدر، وزيادة كفاءة التوزيع. وتشير التجارب الناجحة إلى أن مثل هذه التقنيات تُعد أدوات فعالة بشكل خاص في البيئات التي تعاني من هشاشة البنية التحتية وشح الموارد المائية، كما هو الحال في ليبيا ودارفور، حيث يسهم استخدام البلوك تشين في بناء أنظمة ذكية وشفافة قادرة على تتبع استهلاك المياه ونقلها عبر مختلف نقاط الاستخدام، مما يُقلل من فرص الفقد أو التلاعب.(Mahardhika & Putriani, 2023)

وتُعتبر تجربة فيتنام في حوض نهر دانغ نال من الأمثلة البارزة على ذلك، إذ تم توظيف البلوك تشين لربط أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي مع التنبؤات الهيدرولوجية، ضمن إطار ذكي يتيح مراقبة جودة المياه والتحكم في العمليات التشغيلية. وقد جذبت هذه المبادرة اهتماماً متزايداً من الحكومات والمستثمرين، لما لها من قدرة على تحسين كفاءة الإدارة المستدامة للموارد المائية (Krishnan et al., 2022).

في هذا السياق، يُعد التكامل بين تقنيتي البلوك تشين وإنترنت الأشياء (IoT) نقلة نوعية في تطوير أنظمة إدارة المياه، سواء على المستوى الحضري أو داخل المؤسسات كالمكتبات الخضراء. فبفضل إنترنت الأشياء، يمكن بناء شبكة مترابطة من الحساسات والأجهزة الذكية التي تجمع البيانات البيئية بشكل لحظي، وتُمكّن من مراقبة تدفق المياه، وقياس معدلات الاستهلاك، وتحليل أنماط الاستخدام. كما تسهم هذه الأنظمة في الكشف الفوري عن التسريبات، وتنظيم ضغط المياه بطريقة ذكية وفقاً للبيانات المستمرة، مما يُتيح اتخاذ قرارات تشغيلية سريعة تقلل الفاقد وتُحقق وفراً ملموساً في استهلاك المياه.(Kamyab et al., 2023)

من جهة أخرى، تُعد تقنية البلوك تشين مكمّلة مثالية لإنترنت الأشياء، حيث تُوفر بيئة بيانات آمنة وموثوقة، تُخزن فيها كافة العمليات المتعلقة بإدارة المياه بشكل مشفّر وغير قابل للتعديل، دون الحاجة إلى جهة وسيطة. ويتيح ذلك تتبع كل نقطة من نقاط استخدام المياه، من المصدر إلى المستهلك النهائي، بما يعزز من الشفافية، ويسهّل عمليات التدقيق والامتثال للمعايير البيئية.

عند دمج هاتين التقنيتين ضمن نظام موحد، يتم إنشاء ما يُعرف بالشبكة الذكية المتكاملة، وهي شبكة تتسم بالشفافية، والدقة، والأمان، وتوفر بيانات لحظية تسهم في اتخاذ قرارات فورية مبنية على معطيات حقيقية. وتُظهر دراسات مثل تلك التي أجراها Kamyab وآخرون (٢٠٢٣) أن هذا التكامل يُمكن أن يُقلل من الهدر بنسبة تصل إلى ٤٠%، ويُحسن من أداء أنظمة الري والتبريد، ويُسهم في الكشف المبكر عن الأعطال، مما يرفع من كفاءة الأداء المؤسسي ويُعزز ثقة الجهات الرقابية والمستخدمين في إدارة الموارد.

وبذلك، لا يُمثل هذا التكامل بين البلوك تشين وإنترنت الأشياء مجرد تحديث تقني، بل يشكل تحولاً استراتيجياً في إدارة المياه داخل المؤسسات المستدامة مثل المكتبات الخضراء. فمن خلال هذا النظام، تتحول المكتبة من مستهلك تقليدي للموارد إلى مؤسسة ذكية تُنتج البيانات وتُحللها وتُوظفها في تحقيق أهداف الاستدامة، مما يجعل من هذا النموذج أساساً لمشاريع بيئية مستدامة قادرة على مواجهة تحديات ندرة المياه ومحدودية الموارد.(Paul, 2020; WIPO, 2020)

الفوائد المؤسسية للمكتبات

يُوفر هذا التكامل العديد من المزايا للمكتبات التي تسعى لتكون خضراء ومستدامة بيئياً وتقنياً، ومنها:

- **دعم القرار البيئي** :من خلال تزويد الإدارات بالمعلومات الفورية الدقيقة، ما يُسهم في رسم سياسات تشغيلية قائمة على بيانات علمية.
- **رفع كفاءة الأداء** :بفضل التشغيل الآلي، وتقليل الحاجة للتدخل البشري، وتخفيض معدل الأعطال.
- **الامتثال للمعايير الدولية** :من خلال تقديم نظام موثق وقابل للمراجعة، يتماشى مع متطلبات الشهادات البيئية مثل LEED و.ISO 14001
- **خفض التكاليف** :من خلال تقليل الاستهلاك والهدر، وخفض تكاليف الصيانة والموارد البشرية.

التحديات المؤسسية والتقنية في تنفيذ تكامل تقنيتي البلوك تشين وإنترنت الأشياء

رغم الفوائد المتعددة لتكامل تقنيتي البلوك تشين وإنترنت الأشياء في إدارة المياه والموارد البيئية في المكتبات الخضراء، إلا أن التطبيق العملي لهذا التكامل يواجه جملة من التحديات المؤسسية والتقنية التي ينبغي التعامل معها برؤية استراتيجية شاملة.

أولاً: تحديات البنية التحتية الرقمية

يُعد توفر بنية تحتية رقمية مرنة ومحدثة شرطاً أساسياً لنجاح هذا التكامل. فأنظمة إنترنت الأشياء تتطلب تغطية شبكية موثوقة، وتوافر مستشعرات دقيقة، وقدرة على معالجة البيانات في الزمن الحقيقي، في حين تحتاج تقنية البلوك تشين إلى بنى بيانات موزعة وآمنة تتطلب أجهزة ذات

مواصفات عالية وقدرات حوسبية متقدمة. وتواجه العديد من المكتبات، خاصة في الدول النامية، قصوراً في هذه الجوانب بسبب محدودية الاستثمار أو ضعف الدعم الحكومي.(Bibri, 2021)

ثانياً: تحديات الكوادر البشرية

يتطلب تشغيل هذه الأنظمة كوادر فنية مدرّبة قادرة على فهم البيانات، وإدارة سلاسل الكتل، والتعامل مع أنظمة التشفير وتحليل الاستشعار الذكي. ومع ذلك، تُعاني بعض المكتبات من نقص في هذه المهارات، ما يتطلب تنفيذ برامج تدريبية وتثقيفية طويلة الأمد تهدف إلى بناء قدرات محلية في إدارة الحلول الرقمية المستدامة. وتشير دراسات إلى أن نقص المهارات الرقمية هو أحد أبرز معوقات التحول الذكي في مؤسسات التعليم والثقافة.(Zhou et al., 2016)

ثالثاً: تحديات الأمن السيبراني وحماية الخصوصية

تشكل حماية البيانات وحفظ الخصوصية تحدياً محورياً في الأنظمة التي تعتمد على جمع البيانات الحية والمستمرة. فالمعلومات التي يتم التقاطها من أجهزة إنترنت الأشياء قد تتضمن بيانات حساسة، مما يستلزم تصميم حلول تشفير قوية وسياسات صارمة للتحكم في الوصول وإدارة البيانات. كما أن البلوك تشين، رغم ما توفره من أمان وشفافية، قد تتطلب معايير إضافية لحماية الهوية الرقمية ومواقع الاستخدام في البيئات المفتوحة.(Aggarwal et al., 2020)

رابعاً: تحديات الحوكمة والسياسات المؤسسية

لا يقتصر الأمر على الجانب التقني، بل يحتاج أيضاً إلى توافق السياسات الداخلية للمكتبة مع متطلبات التكامل التكنولوجي. فالمؤسسات التي لا تعتمد سياسات واضحة للحوكمة الرقمية أو لا تمتلك خططاً لإدارة البيانات والمخاطر قد تجد صعوبة في دمج هذه الأنظمة بفعالية. ويزداد هذا التحدي في غياب الأطر التشريعية التي تنظّم استخدام تقنيات البلوك تشين وإنترنت الأشياء في القطاع الثقافي.(Alketbi et al., 2018)

خامساً: التحديات المتعلقة بالتكلفة والتمويل

تشكل تكلفة شراء الأجهزة، وتطوير البرمجيات، وتوفير البنية التحتية اللازمة، وتدريب الكوادر تحدياً مالياً كبيراً خاصة في المؤسسات ذات الميزانيات المحدودة. ومن ثم، فإن تحقيق الاستدامة يتطلب تنويع مصادر التمويل، من خلال الشراكات مع القطاع الخاص، والمبادرات الحكومية، والدعم الدولي لمشاريع التحول الذكي.(Sundaresan et al., 2021)

سادساً: التحديات المرتبطة بتكامل الأنظمة القديمة

غالباً ما تكون المكتبات قد استثمرت بالفعل في بنى تحتية تقنية تقليدية، ما يجعل تكامل الأنظمة الجديدة تحدياً من حيث التوافق التشغيلي والبرمجي. وتتطلب عملية التوافق هذه حلولاً هجينة أو منصات وسيطة تسمح بربط القديم بالجديد دون التأثير على العمليات القائمة (Ghansah et al., 2021).

يتضح من ذلك أن التحول إلى مكتبات ذكية خضراء تعتمد على تكامل تقنيات البلوك تشين وإنترنت الأشياء لا يمكن أن يتم بمعزل عن رؤية مؤسسية متكاملة تأخذ بعين الاعتبار البعد التقني والبشري والإداري والمالي، كما تؤكد الأدبيات الحديثة أن ضمان نجاح هذا التكامل يرتبط بقدرة المؤسسة على التكيف والابتكار واتباع منهج تدريجي مرن يراعي خصوصية كل مكتبة (Ghansah et al., 2021; Xiaofei et al., 2023; AlMuharraqi et al., 2022).

الذكاء الاصطناعي في إدارة الطاقة بالمكتبات الخضراء

يُعد الذكاء الاصطناعي عنصراً محورياً في تعزيز كفاءة الطاقة داخل المكتبات الخضراء، حيث يتيح للمؤسسات الثقافية تحقيق مستويات عالية من الكفاءة التشغيلية والاستدامة البيئية. فبفضل أنظمة الإضاءة الذكية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، بات بالإمكان ضبط شدة الإضاءة بناءً على الإشغال الفعلي للمكان والضوء الطبيعي المتوفر، وذلك من خلال حساسات ضوئية مدمجة بخوارزميات تعلم آلي تقوم بتحليل أنماط الحركة داخل المكتبة .(Jin et al., 2022) هذه الأنظمة

الذكية تُمكّن من تقليل استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى ٣٥% مقارنة بالأنظمة التقليدية، كما تُسهم في تعزيز راحة المستخدمين. وعند دمج هذه الحلول مع واجهات تحكم مركزية، يصبح من الممكن التحكم المتزامن في الإضاءة والتهوية والتبريد، ما يُحقق تكاملاً عالياً في إدارة موارد الطاقة (Feng et al., 2024; Yu, 2025)

من أبرز النماذج التطبيقية التي تُجسد التكامل بين الذكاء الاصطناعي والاستدامة في إدارة الطاقة داخل المكتبات، تبرز تجربتان عالميتان رائدتان: مكتبة آنا المئوية في الهند، ومكتبة محمد بن راشد في دولة الإمارات العربية المتحدة. تُعد مكتبة آنا المئوية **(**Anna Centenary Library) في مدينة تشيناي، واحدة من أضخم المكتبات العامة في قارة آسيا، وقد نالت تصنيف LEED Goldاعترافاً بالتزامها بمعايير التصميم الأخضر والتشغيل الذكي. تعتمد المكتبة على أنظمة متقدمة لإدارة الطاقة تستند إلى الذكاء الاصطناعي، ما يمكنها من مراقبة توزيع الكهرباء، وضبط الإضاءة والتهوية، والتحكم في استهلاك مختلف الأجهزة الإلكترونية بدقة. كما تعتمد على الطاقة الشمسية كمصدر بديل يغطي نسبة كبيرة من احتياجاتها التشغيلية، مما يجعلها نموذجاً فعلياً لمكتبة مستدامة من حيث البنية والممارسات.(Gaffar, Sindhu, & Kumar, 2021)

أما في العالم العربي، فتُمثل مكتبة محمد بن راشد في دبي مثالاً متقدماً على التكامل الفعّال بين الذكاء الاصطناعي وحلول الطاقة المستدامة ضمن تصميم معماري ذكي. وقد حصلت المكتبة على التصنيف البلاتيني منLEED ، وهو أعلى تصنيف يُمنح للمباني المستدامة على مستوى العالم. تعتمد المكتبة على مجموعة من الابتكارات البيئية الذكية، من أبرزها استخدام الألواح الشمسية التي توفّر ما يقارب ١٠% من احتياجات الطاقة، إلى جانب أنظمة تحكم ذكية تقوم بضبط الإضاءة والتكييف والتبريد بناءً على الإشغال الفعلي وظروف الطقس الخارجية. كما تتضمن تصميمات المكتبة نوافذ ذكية تعمل على تنظيم دخول الضوء والحرارة، مما يقلل من الحاجة للتبريد الصناعي. وتُكمّل هذه المنظومة البيئية بنظام متقدم لإعادة تدوير مياه التبريد واستخدامها في ري المساحات الخضراء، مما يحقق ترشيداً مزدوجاً في استهلاك الطاقة والمياه (الإمارات اليوم، ٢٠٢٣).

وتتجلى أهمية الذكاء الاصطناعي في هذا السياق في قدرته على دعم نموذج المباني صفرية الطاقة(Zero Energy Buildings - ZEBs) ، التي تُنتج من الطاقة ما يعادل أو يفوق ما تستهلكه. ويعتمد هذا النموذج على التكامل بين مصادر الطاقة المتجددة والأنظمة الذكية. إذ تقوم خوارزميات تعلم الآلة، المرتبطة بأجهزة استشعار موزعة في أنحاء المبنى، بتتبع وتحليل أنماط استهلاك الطاقة لمختلف الأنظمة: الإضاءة، التدفئة، التهوية، التكييف(HVAC) ، الحواسيب، الأنظمة الأمنية، المصاعد، والمضخات. وتُستخدم هذه البيانات للتنبؤ بالطلب، وضبط التشغيل تلقائياً لتقليل الهدر دون الإضرار براحة المستخدم (Li et al., 2018; Feng et al., 2024) .

ومن الوظائف المتقدمة للذكاء الاصطناعي في هذا المجال ما يُعرف بـ"الاستجابة الذكية للطلب " (Smart Demand Response)، حيث تقوم الأنظمة الذكية بتعديل نمط الاستهلاك بناءً على تغيرات أسعار الكهرباء أو أوقات الذروة أو تغيرات الأحمال. وتُمكّن هذه الخاصية من تقليل استهلاك الطاقة خلال الفترات الحرجة، وتوجيه الاستهلاك إلى الفترات ذات الأسعار المنخفضة أو وفرة الطاقة، بل وتُمكّن من إشعار العاملين باتخاذ إجراءات فورية (مثل خفض التكييف أو إطفاء الإضاءة) (Feng et al., 2024). وتعد هذه القدرة على التفاعل التلقائي مع شبكات الطاقة الذكية من الملامح المستقبلية التي ستميز مكتبات الغد، في ظل التوجه العالمي نحو بنية تحتية طاقية مدعومة بالذكاء الاصطناعي والبيانات الحية.

وباختصار، فإن تطبيق الذكاء الاصطناعي في إدارة الطاقة داخل المكتبات الخضراء لا يقتصر على تقنيات التوفير، بل يُمثل تحولاً شاملاً نحو مؤسسات معرفية ذات كفاءة تشغيلية عالية، واستجابة بيئية مسؤولة، وقدرة على مواكبة متطلبات الاستدامة في الحاضر والمستقبل.(Ramachandran, 2024; Ahmed et al., 2025).

إدارة النفايات الذكية

تستفيد المكتبات الذكية من تقنيات الذكاء الاصطناعي في تصنيف النفايات وإدارتها من خلال روبوتات فرز تعمل بالتعلم العميق، أو تطبيقات قائمة على رؤية الحاسوب تميز بين المواد القابلة

للتدوير وغير القابلة للتدوير .(Yousefi et al., 2021) كما تُستخدم مستشعرات ذكية لمراقبة مستويات الامتلاء في صناديق النفايات، وربطها بخوارزميات لتحديد أفضل توقيت لإفراغها، ما يقلل من استهلاك الوقود والانبعاثات الناتجة عن عمليات الجمع. .وقد أظهرت تطبيقات في مدن ذكية مثل أمستردام وسنغافورة أن هذه الأنظمة يمكن أن تقلل من تكاليف إدارة النفايات بنسبة تصل إلى25% ، وتزيد من معدلات إعادة التدوير بنسبة.(Wong et al., 2021) 30% إدماج هذه التقنيات في المكتبات لا يسهم فقط في تقليل البصمة البيئية، بل يعزز أيضاً من تجربة المستخدم ويُسهم في رفع كفاءة العمليات اليومية بشكل ملموس.

دور الذكاء الاصطناعي في التنبؤ والصيانة الوقائية

يلعب الذكاء الاصطناعي دوراً متقدماً وحاسماً في تطوير استراتيجيات الصيانة الوقائية داخل أنظمة إدارة الطاقة في المكتبات الخضراء. ويُعد هذا التطبيق امتداداً لوظائف المراقبة الذكية، حيث لا يقتصر الأمر على تتبع الأداء في الوقت الفعلي، بل يتعداه إلى تحليل البيانات التاريخية والتشغيلية للأجهزة مثل المضخات، ووحدات التبريد، وأجهزة التهوية والتكييف بهدف التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها فعلياً.

يعتمد هذا النهج على خوارزميات تعلم الآلة التي تقوم بمقارنة الأداء الحالي مع أنماط تشغيل معيارية، وتحديد الفروقات التي قد تشير إلى وجود خلل تقني وشيك. وبهذا، يمكن اتخاذ إجراءات صيانة استباقية، تُجنب المؤسسة توقفات غير متوقعة، وتُقلل من كلفة الإصلاحات الطارئة، كما تُطيل من العمر التشغيلي للمعدات، وتُحسن من كفاءة النظام الطاقي ككل.

وقد أظهرت الأدبيات أن تطبيق الصيانة التنبؤية باستخدام الذكاء الاصطناعي في المباني الذكية يُقلل من أعطال الأنظمة بنسبة تصل إلى ٣٠%، ويرفع من معدل الاعتمادية التشغيلية (Feng et al., 2024; Ahmed et al., 2025). كما تُشير تقارير أخرى إلى أن هذه التقنية يمكن أن تُخفض التكاليف التشغيلية السنوية بشكل ملموس، بفضل تجنب الإصلاحات العشوائية وخفض استهلاك الطاقة المرتبط بالأداء المتدني للمعدات.(Yu, 2025)

إن تبني هذه التقنية في بيئة المكتبات لا يُحقق فقط وفورات تشغيلية، بل يُعزز من استدامة الأداء ويُوفر تجربة أكثر استقراراً للمستخدمين، خصوصاً في المؤسسات التي تُدير أعداداً كبيرة من الزوار والأنشطة بشكل يومي. وتُعد هذه الوظيفة من اللبنات الأساسية في بناء مكتبة خضراء قائمة على التحكم الذكي والصيانة الذاتية والتشغيل المتكامل.

التحديات والاعتبارات الأخلاقية

رغم إمكاناته التحويلية، يواجه دمج الذكاء الاصطناعي في بيئة المكتبات تحديات متعددة يجب الاعتراف بها ومعالجتها:

- **الخصوصية والمراقبة** :إن الاستخدام الواسع للحساسات وتحليلات البيانات ينطوي على مخاطر تمس خصوصية المستخدم. لذلك، يجب على المكتبات كمساحات موثوقة تقليدياً تبني سياسات حوكمة بيانات شفافة للحفاظ على ثقة الجمهور.(Luca et al., 2022)
- **عدم تكافؤ الموارد** :يتطلب تنفيذ أنظمة الذكاء الاصطناعي المتقدمة استثمارات مالية ضخمة، وبنية تحتية تقنية، وخبرات بشرية- موارد لا تتوفر بشكل متساوٍ في جميع المكتبات، لا سيما في المناطق ذات الدخل المنخفض.
- **الاعتماد التكنولوجي** :يمكن أن يؤدي الاعتماد على منصات ذكاء اصطناعي مملوكة إلى احتكار الموردين، مما يُقيد قدرة المكتبات على تطوير الأنظمة بما يتوافق مع السياقات المحلية.
- **التحيز الأخلاقي والاجتماعي** :قد تُكرّس الخوارزميات المدربة على مجموعات بيانات متحيزة الفجوات النظامية، كأن توصي بوجهات نظر محدودة أو تستبعد أصواتاً مهمّشة من نتائج البحث.
- **فجوات المهارات وتغيّر الأدوار الوظيفية** :قد تؤدي الأتمتة إلى إعادة تشكيل أدوار العاملين في المكتبات، مما يتطلب مبادرات لإعادة التأهيل المهني وتصميم أنظمة شاملة تضمن بقاء أمناء المكتبات في قلب تقديم الخدمة.

ومن خلال استلهام التجارب الواسعة لتطبيقات الذكاء الاصطناعي في المدن الذكية، يمكن للمكتبات أن تُعيد تعريف ذاتها كمراكز ذكاء أخضر—فضاءات تتقاطع فيها التكنولوجيا، والاستدامة، والمعرفة لخدمة الصالح العام.

إطار عمل مسؤول ومتأمل للذكاء الاصطناعي في المكتبات

تُعد مسألة دمج الذكاء الاصطناعي في بيئة المكتبات الخضراء والذكية فرصة استراتيجية لإعادة صياغة دور المكتبة في العصر الرقمي، لكنها في ذات الوقت تتطلب إطاراً مؤسسياً يتسم بالمسؤولية، والشفافية، والشمولية. لتحقيق هذا التوازن، ينبغي على المكتبات اعتماد نهج منهجي قائم على المبادئ الأخلاقية والتنموية المستدامة في تصميم وتنفيذ تقنيات الذكاء الاصطناعي.

وقد أوصت الأدبيات الحديثة بتبني أطر عمل تجريبية استراتيجية في إدماج الذكاء الاصطناعي تقودها الاحتياجات الفعلية للمنظمة، ومن أبرز هذه الأطر: إطار "التجريب القائم على الحاجة " (Need-Based Experimentation Framework - NBE)وإطار "التجريب القائم على الفضول(Curiosity-Based Experimentation Framework - CBE) "، واللذان يُشكلان منهجيتين تكاملتين تُعززان من قدرة المكتبة على الابتكار ضمن بيئة منظمة قابلة للتقييم والتكرار.(Gupta & Gupta, 2023a)

يرتكز إطار التجريب القائم على الحاجة على معالجة تحديات مؤسسية محددة بدقة، حيث يتم توجيه التجارب التقنية نحو أهداف تشغيلية واضحة مثل: خفض استهلاك الطاقة، تحسين تخصيص الموارد، أو تعزيز التخصيص الشخصي للخدمات. وتكمن قيمة هذا الإطار في كونه موجهاً نحو الحلول، ما يُعزز من فاعلية تبنّي تقنيات الذكاء الاصطناعي في الاستجابة لمشكلات حقيقية تُواجه المؤسسة.(Gupta & Gupta, 2023a)

في المقابل، يُشجّع إطار التجريب القائم على الفضول الموظفين والفنيين في المكتبة على استكشاف تطبيقات الذكاء الاصطناعي بدافع الابتكار أو الفضول المهني، حتى وإن لم تكن هناك

حاجة تشغيلية مباشرة. ويهدف هذا الإطار إلى خلق بيئة محفّزة للتعلم المستمر، حيث يتم تجربة أدوات مثل روبوتات المحادثة أو أنظمة التوصية الذكية لاكتشاف إمكانياتها وتحديد سبل توظيفها المحتملة مستقبلاً.(Gupta & Gupta, 2023b)

ويُعد التفاعل بين الإطارين من عوامل القوة في المنهجية؛ إذ إن التجريب القائم على الحاجة قد يكشف عن مجالات يُمكن للفضول المهني استكشافها بمرونة، والعكس صحيح، حيث يُمكن لتجارب CBE أن تفتح آفاقاً غير متوقعة لحلول قابلة للتطبيق ضمن إطار .NBE هذا التفاعل يُمكّن المكتبات من الحفاظ على توازن بين الابتكار والاستراتيجية، وبين الاستجابة للحاجات الآنية واستشراف المستقبل.

وقد أظهرت دراسات حالة أن تبني هذه الأطر يسهم في رفع كفاءة العاملين في المكتبة، ويُعزز من قدراتهم في حل المشكلات، كما يخلق بيئة تعاونية توثّق الخبرات وتُسهم في تعميم الممارسات الناجحة على مستوى المؤسسة .(Gupta & Gupta, 2023c) بالتالي، فإن دمج أطر التجريب القائم على الحاجة والفضول يُوفر للمكتبات خارطة طريق متوازنة تجمع بين الجرأة في الابتكار والالتزام بالمسؤولية المؤسسية.

في السياق نفسه، يُعد تطوير سياسات مؤسسية للذكاء الاصطناعي خطوة أساسية لترسيخ الاستخدام الأخلاقي والشفاف للتقنيات. توصي الدراسات بإدماج مبادئ الشفافية، وقابلية التفسير (explainability)، وضمان خلو الأنظمة من التحيز الخوارزمي، خاصة فيما يتعلق بالتوصيات أو إدارة البيانات الحساسة للمستخدمين .(Bradley, 2022) وفي إطار الحوكمة التقنية، يُمكن الاستفادة من تقنيات العقود الذكية (smart contracts) ضمن البلوك تشين لضمان التحقق من توافق استخدام الذكاء الاصطناعي مع السياسات الأخلاقية والبيئية المتفق عليها (Asif et al., 2023).

إضافة إلى ذلك، يتطلب دمج الذكاء الاصطناعي في المكتبات استثماراً مؤسسياً في بناء القدرات البشرية. وقد أظهرت دراسات تطبيقية أن رفع كفاءة العاملين في المكتبات على مهارات الذكاء

الاصطناعي وتحليل البيانات يسهم في تحسين نوعية الخدمات وتبني التحول الرقمي بسلاسة أكبر .(Shahzad et al., 2024) من الضروري أيضاً تطوير برامج تدريبية قائمة على مفهوم "مواطنة الذكاء الاصطناعي (AI Citizenship) "الذي يُعزز الوعي النقدي والأخلاقي لاستخدام الذكاء الاصطناعي بين موظفي المكتبات والمستخدمين على حد سواء ,Hossain) 2024).

أخيراً، لا يمكن أن تكتمل فعالية هذا الإطار دون إشراك المجتمعات المحلية في تصميم الخدمات المعتمدة على الذكاء الاصطناعي. إذ تُظهر الأدلة أن إشراك المستخدمين في المراحل الأولية من تطوير الخدمات يعزز من القبول الاجتماعي ويضمن أن التقنية تخدم الوظيفة المدنية للمكتبة، لا أن تستبدلها.(Rahmani, 2023)

متطلبات التفعيل الناجح للحلول الذكية في المكتبات الخضراء

لكي تتمكن المكتبات من التحول إلى مؤسسات خضراء قائمة على التشغيل الذكي والتقنيات المستدامة، لا يكفي تبنّي التقنيات بمفردها. بل يجب أن يستند ذلك إلى منظومة متكاملة من المتطلبات الفنية والإدارية والمؤسسية، تُراعي الخصوصيات التشغيلية لكل مكتبة، وتُحقق التكامل بين البنية التحتية، ورأس المال البشري، والسياسات الداخلية، والثقافة البيئية.

- تقييم الوضع البيئي القائم

بالاعتماد على المؤشرات البيئية، يُعد تقييم الأداء البيئي للمكتبة خطوة أولى أساسية في مسار التحول نحو الاستدامة، حيث يُمثل هذا التقييم الإطار التشخيصي الذي يُستخدم للكشف عن مدى الالتزام بالممارسات البيئية وتحديد الثغرات التشغيلية والمجالات التي تتطلب تدخلاً وتحسيناً. يتم هذا التقييم بالاستناد إلى ما يُعرف بمؤشرات الأداء البيئي (Environmental Performance Indicators - EPIs)، وهي مجموعة من المعايير الكمية والنوعية المصممة لقياس فعالية السياسات البيئية في عدة مجالات أساسية، تشمل: استهلاك الطاقة، إدارة المياه، معالجة النفايات،

جودة الهواء الداخلي، وتوظيف المواد الصديقة للبيئة في البناء والتشغيل (Hauke, Latimer, & Niess, 2021).

تشمل هذه المؤشرات معدلات استهلاك الكهرباء بالكيلوواط/ساعة لكل متر مربع، كمية المياه المستخدمة لكل مستخدم يومياً، نسب المواد المعاد تدويرها من إجمالي النفايات، مستويات ثاني أكسيد الكربون في الهواء الداخلي، شدة الإضاءة الطبيعية، كفاءة أنظمة التهوية والتكييف، وفعالية العزل الحراري. كما تأخذ بعض المعايير بعين الاعتبار استخدام الأجهزة ذات الكفاءة الطاقية العالية، ووجود نظم مخصصة لجمع مياه الأمطار أو المياه الرمادية، ومدى قدرة المبنى على الاستفادة من التهوية الطبيعية والإضاءة غير الصناعية (Fedorowicz-Kruszewska, 2020).

تستند هذه المؤشرات إلى معايير معترف بها دولياً، من أبرزها نظام LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ونظام ISO 14001 ، والتي تُعتمد لتقييم الأداء البيئي في المباني الخضراء. ويتم تكييف هذه الأنظمة عند تطبيقها في المكتبات بحيث تراعي الخصوصية التشغيلية للمؤسسات الثقافية والتعليمية، بما في ذلك سلوكيات الزوار، وأوقات الذروة، ونوع النشاط الممارس في الفضاءات المكتبية المختلفة (Rajput, 2016; Hauke, 2015).

تُنفذ عملية التقييم من خلال مراجعة تفصيلية للبنية التحتية الحالية للمكتبة، وتحليل كفاءة أنظمتها التشغيلية، ورصد أداء الموظفين، وتقييم سلوك المستخدمين، وربط هذه المعطيات بالنتائج البيئية المحققة. ويُستخدم هذا التقييم لتحديد الأهداف البيئية بدقة، وترتيب الأولويات، وتطوير خطة تشغيلية متكاملة تشمل مؤشرات متابعة واضحة، وجداول زمنية محددة، وميزانيات واقعية قابلة للتطبيق.

أظهرت الأدبيات المتخصصة أن تبنّي مكتبات الاستدامة لمؤشرات الأداء البيئي لا يقتصر فقط على تحسين الأثر البيئي، بل يُعزز من الشفافية المؤسسية، ويُسهل من عمليات التدقيق والتقويم

الخارجي، ويُوفّر مرجعية علمية لصناع القرار والإدارات المعنية لاتخاذ قرارات قائمة على بيانات موثوقة ومحدثة، مما يُسهم بشكل مباشر في تحقيق أهداف الاستدامة طويلة المدى وتعزيز ثقة الشركاء والممولين في جدوى السياسات البيئية للمؤسسة (Fedorowicz-Kruszewska, 2020; Hauke, 2015).

- وضع خطة استدامة شاملة

صياغة خطة استدامة شاملة تُعد خطوة محورية بعد الانتهاء من تقييم الأداء البيئي، إذ تمثل الإطار التنفيذي لتحويل نتائج التقييم إلى إجراءات عملية وقابلة للقياس. تتطلب هذه الخطة وضع أهداف كمية دقيقة، مثل تقليص استهلاك الطاقة بنسبة ٢٠% خلال خمس سنوات، أو خفض استهلاك المياه بمعدل محدد للفرد، ما يُتيح متابعة التقدم بصورة موضوعية. ويجب أن تشمل الخطة كذلك آليات تنفيذ موزعة بوضوح على مختلف أقسام المكتبة، لضمان تكامل الجهود المؤسسية. كما يُوصى بتحديد مؤشرات دقيقة للمتابعة والتقييم، ترتبط بجدول زمني وميزانية تشغيلية تضمن استدامة التمويل اللازم.

عنصر إضافي بالغ الأهمية هو إدماج نظام تحفيزي داخلي يستهدف تعزيز التزام الموظفين بالممارسات البيئية، من خلال المكافآت أو التقدير المؤسسي أو إشراكهم في صياغة الحلول، مما يعزز من تبني ثقافة الاستدامة داخل المؤسسة. وفي هذا السياق، توصي جمعية المكتبات الأمريكية (American Library Association – Sustainability Round Table, n.d.) بضرورة دمج الاستدامة في بنية الحوكمة المؤسسية، لا باعتبارها مشروعاً منفصلاً أو مؤقتاً، بل جزءاً من العمليات والسياسات اليومية التي تحكم عمل المكتبة وارتباطها بالمجتمع المحلي.

- دمج المساحات الخضراء في التصميم

تُسهم المساحات الخضراء، سواء داخل أو خارج المكتبة، في تحسين جودة الهواء، وتنظيم درجات الحرارة، وتقليل التلوث السمعي، فضلاً عن أثرها الإيجابي على الصحة النفسية للمستخدمين والعاملين. وقد أظهرت دراسات أن استخدام النباتات الطبيعية في التصميم الداخلي يُسهم في تقليل القلق، وتحفيز التركيز، وزيادة إنتاجية الموظفين.(Abulude, 2023)

تُظهر الدراسات العلمية أن دمج المساحات الخضراء في تصميم المكتبات الذكية والخضراء، ويعتبر إدماج عناصر الطبيعة – عبر ما يُعرف بالتصميم البيوفيلي – (Biophilic Design) يُعد من أكثر استراتيجيات التصميم فعالية في تحسين جودة الهواء، وتنظيم درجات الحرارة، وتعزيز الصحة النفسية للمستخدمين والعاملين. فمن ناحية جودة الهواء والراحة الحرارية، كشفت دراسة حديثة أجريت باستخدام الواقع الافتراضي في مبانٍ خضراء معتمدة أن العناصر النباتية تُسهم في تقليل الشعور بالحرارة العالية بما يعادل ١,٦٦ درجة مئوية، مما يساعد على خفض استهلاك أنظمة التبريد بنسبة تصل إلى ١٢,٦ .(Tashiro & Harada, 2025) %هذا يعكس دور النباتات الداخلية في دعم كفاءة الطاقة وتقليل الاعتماد على أجهزة التكييف. أما من الناحية النفسية والمعرفية، فقد أثبتت دراسة أُجريت في مكتبات جامعية أن التصميم البيوفيلي يُسهم بشكل مباشر في تقليل ضغط الدم ومعدلات التوتر وتحسين التركيز والتجربة التعليمية للطلاب (Sakip et al., 2024).كما أظهرت دراسة أُخرى باستخدام أجهزة تتبع حركة العين أن وجود النباتات الطبيعية داخل المكتبات يزيد من التفاعل البصري والراحة النفسية، مما يُحسن من بيئة التعلم والإنتاجية.(Bonenberg & Wlazły, 2023)

كذلك، أظهرت دراسة أُجريت في بيئة مكتبات جامعية أن المساحات المزروعة بالنباتات، ووجود الضوء الطبيعي، والمناطق المفتوحة المرتبطة بالطبيعة، تعزز من الشعور بالانفصال عن الضغوط، وتزيد من الدافعية الذاتية للتعلم، مما يجعل من المكتبة فضاءً استشفائياً مشابهاً للمحيط الطبيعي.(Song et al., 2024)

بناء على هذه الأدلة، فإن توصيات التصميم تشمل ما يلي:

- تخصيص حدائق خارجية أو ساحات خضراء للقراءة والتفاعل الاجتماعي.
- استخدام نباتات داخلية تتكيف مع البيئة المحلية وتوفر فوائد صحية وبيئية.
- إنشاء أسطح خضراء (Green Roofs) تعزز من العزل الحراري وتقلل من الجزر الحرارية الحضرية.
- دمج أنظمة ري ذكية قائمة على إنترنت الأشياء لمراقبة استهلاك المياه وتحسين استدامة المساحات المزروعة.

هذه المعطيات تُؤكد أن دمج الطبيعة في تصميم المكتبة لا يُعد ترفاً معمارياً، بل خياراً استراتيجياً لدعم كفاءة الطاقة، وتحسين الصحة النفسية، وتعزيز التجربة المعرفية داخل بيئات التعلم الحديثة.

- بناء القدرات المؤسسية والتدريب الفني

من دون تدريب مستمر، قد تُصبح التقنيات الحديثة عبئاً على المؤسسة بدلاً من كونها حلاً. لذلك، ينبغي أن يُرافق أي مشروع للتحول نحو مكتبة خضراء خطة لتدريب الموظفين على تشغيل الأنظمة، وفهم البيانات، والاستجابة السليمة للأعطال، إلى جانب ترسيخ مفاهيم الثقافة البيئية داخل المؤسسة.

أظهرت الأدبيات أهمية تدريب الكوادر البشرية بوصفه شرطاً أساسياً لتحقيق التحول البيئي والتقني داخل المكتبات. تشير الدراسات إلى أن موظفي المكتبات، خاصة أولئك المنخرطين في مشاريع الذكاء الاصطناعي والتقنيات الذكية، بحاجة مستمرة إلى تطوير المهارات المرتبطة بإدارة الأنظمة الذكية، تفسير البيانات، وضمان التشغيل الفعال للتقنيات الموفرة للطاقة والمياه (Anjani, 2024).

كما يؤكد الباحثون أن التدريب المؤسسي لا ينبغي أن يكون مجرد مبادرة مؤقتة، بل جزءاً متكاملاً من الحوكمة البيئية داخل المكتبة، مما يُسهم في دعم ثقافة التغيير والاستدامة بين الموظفين والمستفيدين على حد سواء .(Hussin & Hafit, 2018) من التجارب الميدانية، أظهرت دراسة ميدانية في جامعات جنوب إفريقيا أن إدراج خطط تدريب منتظمة مبنية على تحليل الاحتياجات ساعد في تحسين تجربة المستخدم النهائي وزيادة كفاءة الموظفين في التعامل مع الحلول التقنية .(Awogbami et al., 2021)

وتؤكد أبحاث أخرى أن ضعف التدريب ونقص الوعي يعدان من العوامل الرئيسة التي تعيق تنفيذ تقنيات الاستدامة، كما هو موثق في التجربة الغانية للمكتبات العامة، والتي وجدت أن نقص التدريب يمثل أحد أبرز التحديات المؤسسية التي تواجه التحول نحو الاستدامة البيئية (Osman & Dango, 2024).

بناءً على ما سبق، يتوجب على المكتبات الراغبة في تحقيق تحول ذكي وأخضر اعتماد نهج تدريبي ممنهج يشمل: ورش عمل تقنية منتظمة، دورات توعوية حول سلوكيات الاستهلاك، وأدلة تشغيل رقمية داخلية، إلى جانب الشراكة مع مؤسسات تعليمية ومزودي خدمات تدريبية معتمدين لتعزيز الجاهزية الرقمية والاستدامة المؤسسية.

- الشراكات المجتمعية والدعم المؤسسي في دعم المكتبات الخضراء

تمثل الشراكات المجتمعية والدعم المؤسسي ركيزة استراتيجية لتحقيق النجاح المستدام في مبادرات المكتبات الخضراء. إذ لا يمكن فصل نجاح هذه المبادرات عن البيئة الأوسع التي تحتضن المكتبة، سواء كانت حكومية أو تعليمية أو مجتمعية. تؤكد الأدبيات الحديثة على أن بناء الثقة مع المجتمع المحلي، وتفعيل قنوات التواصل والتفاعل مع المواطنين، هو أمر حاسم لترسيخ مفاهيم الاستدامة في المكتبات العامة والخاصة.(Scherer, 2014)

أحد النماذج الرائدة في هذا المجال هو مبادرة "Green Libraries Campaign" بقيادة معهد المكتبيين والمعلوماتيين البريطاني(CILIP) ، التي تركز على تعزيز الاستدامة داخل المكتبات من خلال تشجيع المشاركة المجتمعية، وتنسيق الجهود مع الجهات البيئية المحلية، وتحقيق التوافق مع السياسات الوطنية المناخية .(Morris, 2024) وتشمل هذه المبادرة إطلاق صندوق دعم مالي للمكتبات، ومؤتمرات مهنية، وبيانات التزام بيئي تُشكل إطاراً مرجعياً للمؤسسات الراغبة في التحول البيئي.

كما تشير دراسة Genovese & Albanese (2013) إلى أن إنشاء مبانٍ مستدامة لا يمثل سوى الخطوة الأولى، وأن تحقيق الاستدامة الفعلية يتطلب فهماً عميقاً لاحتياجات المجتمع المحلي، وتطوير خدمات معرفية متجاوبة، وبناء قدرات تنظيمية تدعم التغيير البيئي على المدى البعيد.

وتبرز تجربة مكتبة Șirna العامة في رومانيا كنموذج متميز لتفعيل الشراكات المجتمعية، حيث أسهمت هذه المكتبة الصغيرة في تنفيذ أنشطة بيئية وتوعوية تطال فئات متعددة من السكان، بالتعاون مع منظمات مثل WWF ومؤسسات تعليمية وسفارات أجنبية. وقد نجحت المكتبة في جذب دعم مالي مباشر من القطاع الخاص بفضل حملات المناصرة المجتمعية.(Pirvu, 2017)

وفي السياق الإفريقي، تسلط دراسة Maina & Mwiti (2024) الضوء على أهمية تعزيز الشراكات بين المكتبات الجامعية الكينية والمنظمات البيئية المحلية، لتعزيز القدرة المؤسسية على تبني ممارسات الاستدامة رغم القيود التمويلية والتحتية.

تشير هذه النماذج إلى أهمية التكامل بين مبادرات المكتبة البيئية واحتياجات المجتمع المحلي، من خلال:

- إشراك المواطنين في عملية اتخاذ القرار التصميمي والتشغيلي للمكتبة.
- التنسيق مع البلديات والجهات الحكومية للحصول على التمويل والدعم التشريعي.

- التعاون مع الجامعات ومراكز البحوث لتطوير حلول بيئية قائمة على الأدلة.
- تفعيل دور المكتبة كمركز مجتمعي للمعرفة البيئية والتثقيف المناخي.

وبذلك، لا تصبح المكتبة الخضراء مجرد مبنى مستدام، بل تتحول إلى نواة مجتمعية تسهم في بناء ثقافة استهلاك مسؤولة، وتحفز التغيير السلوكي نحو بيئة أكثر استدامة.

التحديات الهيكلية في تبني المباني الذكية: منظور دورة حياة المشروع

يمثل تبني تقنيات المباني الذكية خطوة استراتيجية نحو تحقيق الاستدامة والكفاءة التشغيلية، إلا أن هذا التحول يواجه عدداً من التحديات المنهجية والتقنية المرتبطة بمراحل دورة حياة المشروع، من البرمجة وتحليل الجدوى، إلى التصميم، والتركيب، ثم التشغيل والصيانة.

أولاً: التحديات في مرحلة البرمجة وتحليل الجدوى

تشهد هذه المرحلة تحديات أساسية تُعيق التخطيط الدقيق والتنفيذ الفعال لمشاريع المباني الذكية:

- **نقص التعريف الواضح للمباني الذكية** :غياب تعريف معياري يحدد الخصائص الأساسية لهذه المباني يعوق تصميمها وتنفيذها.(El-Motasem et al., 2021)
- **غياب تصنيف منظم للمباني الذكية** :يمثل غياب التصنيف الهيكلي لهذه المباني تحدياً في تنظيم مكوناتها.(Alfalouji et al., 2023)
- **نقص الأبعاد الأساسية لتقييم الأداء** :يُصعّب غياب الأبعاد المرجعية تحديد مدى فاعلية وكفاءة هذه المباني.(Ejidike & Mewomo, 2023)
- **ندرة مقاييس الاستدامة** :ضعف المعايير الكمية والنوعية يؤدي إلى فقدان الثقة في تقييم الأداء البيئي.(Bibri, 2021; Ghansah et al., 2020)
- **نقص معايير التصميم الأساسية** :عدم وضوح المعايير التصميمية يُعقّد تطوير مبانٍ تلبي الأهداف الذكية.(Aguilar et al., 2021)

- **غياب أنظمة التقييم الآلي** :يمثل غياب أدوات القياس الذكية تحدياً أمام عمليات التصميم الدقيقة.(Ghaffarianhoseini et al., 2016)

ثانياً: التحديات في مرحلة التصميم

- **ضعف تكامل الأنظمة والتشغيل البيني** :يُعد عدم توفر أدوات لتشغيل الأنظمة المختلفة بتكامل تحدياً كبيراً.
- **نقص الإرشادات الوصفية** :عدم توافر أدلة تصميم واضحة يصعب العمليات الهندسية (Alsolami, 2022).
- **غياب خطط العمل الشاملة** :يؤدي ذلك إلى تصميم غير محكم يفتقر إلى تحقيق أهداف المشروع.
- **نقص الرؤية التصميمية المستقبلية** :يؤثر ذلك على القدرة الابتكارية للمهندسين والمعماريين.

ثالثاً: التحديات في مرحلة التركيب والتشغيل

- **تغيرات غير مخططة في نطاق المشروع** :ما يؤدي إلى زيادات مفرطة في الميزانية والوقت.(Ahmed et al., 2021; Pramanik et al., 2019)
- **نقص الدعم اللوجستي وصعوبات التوريد** :يُعيق الوصول إلى الأنظمة والتقنيات المطلوبة.(Himeur et al., 2023; Belani et al., 2014)
- **نقص الخبرة في اختيار الأنظمة** :غياب المعرفة التخصصية يؤدي إلى قرارات تقنية ضعيفة.

رابعاً: التحديات في مرحلة التشغيل والصيانة

- **ارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة** :بالمقارنة مع المباني التقليدية، تتطلب المباني الذكية نفقات أعلى.

- **غياب فرق التشغيل والصيانة في مراحل مبكرة** :يؤدي إلى تراكم مشكلات مستقبلية.
- **الحاجة إلى تقليل دورات الاستبدال** :ما يفرض ضرورة تطوير أنظمة طويلة العمر (Ghansah et al., 2020).
- **نقص ضمانات الجودة والدعم الفني** :يُضعف ثقة المستخدم في النظام ويدفع إلى مقاومة التبني.

خاتمة الفصل

أظهرت هذه الدراسة التحليلية المتعمقة أن التحول نحو المكتبات الخضراء الذكية لم يعد ترفاً تنظيمياً أو خياراً تقنياً، بل أصبح ضرورة مؤسسية واستراتيجية بيئية .وقد بيّنت الأمثلة والتقنيات والتجارب الدولية أن الاستثمار في الحلول الذكية مثل الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، والبلوك تشين، يمكن أن يؤدي إلى تحسينات ملموسة في استهلاك الطاقة والمياه، ورفع كفاءة التشغيل، وتقليل الانبعاثات، وتعزيز التجربة الإنسانية داخل المكتبة.

وتبقى العنصر البشري والسياسات المؤسسية هما مفتاح النجاح الحقيقي. إذ إن التقنية وحدها لا تصنع مكتبة خضراء؛ بل هي الوسيلة التي تدعم ثقافة مؤسسية واعية، قائمة على المعرفة، والالتزام، والتخطيط طويل الأمد.

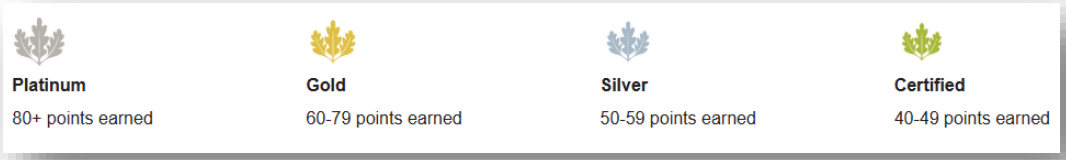
لقد غيّر مفهوم شهادات المباني الخضراء الممارسات المعمارية، مسلطاً الضوء على الاستدامة وكفاءة الطاقة والمسؤولية البيئية. وقد تبنت المكتبات، بصفتها مؤسسات عامة حيوية ذات تأثير مجتمعي كبير، هذه المعايير بهدف تعزيز بصمتها البيئية وكفاءتها التشغيلية. يستعرض هذا الفصل أهم شهادات المباني الخضراء التي يمكن تطبيقها على مباني المكتبات، بما في ذلك LEEDو BREEAM و EDGE ومعايير الاتحاد الدولي لجمعيات ومؤسسات المكتبات (IFLA).

شهادة ليد **(LEED)**

تُعد شهادة الريادة في الطاقة والتصميم البيئي (LEED) Leadership in Energy and Environmental Design من أكثر شهادات البناء الأخضر شهرةً وانتشاراً على مستوى العالم، طورها المجلس الأمريكي للأبنية الخضراء (USGBC) بهدف توفير إطار عمل لبناء مبانٍ موفرة للتكاليف، ذات كفاءة عالية، ومنخفضة الانبعاثات الكربونية، إضافةً إلى توفير بيئات صحية وآمنة للأفراد، مع التركيز على مكافحة تغيّر المناخ. ويهدف ليد (LEED) إلى تقليل مساهمة المباني في التغير المناخي العالمي، وتعزيز صحة الإنسان الفردية، وحماية واستعادة الموارد المائية، وحماية وتعزيز التنوع البيولوجي وخدمات النظام البيئي، وتعزيز دورات المواد المستدامة والمتجددة، وتحسين جودة حياة المجتمع (U.S. Green Building Council, 2025).

تُمنح شهادة LEED بناءً على نظام نقاط، بحيث تُحدد مستويات الاعتماد كما يلي: البلاتينية (≤ ٨٠ نقطة)، الذهبية (٦٠–٧٩ نقطة)، الفضية (٥٠–٥٩ نقطة)، والمعتمدة (٤٠–٤٩ نقطة). وتُخصص النقاط وفق خمس فئات رئيسية: عملية التصميم المتكامل والطاقة والبيئة؛ الإدارة الفعالة للمياه؛ المواد والموارد الطبيعية؛ جودة البيئة الداخلية؛ والموقع والنقل (بحد أقصى ١٠٠

نقطة)، إضافة إلى فئتين إضافيتين: استدامة الموقع والابتكار والأولويات الإقليمية (بحد أقصى ١٠ نقاط) (Piętocha, 2024) .



الشكل (1). نظام تصنيف LEED للمباني الخضراء (Green Building Council, 2025).

مراحل تقييم LEED

يتم الحصـــول على شـــهادة LEED بعد تقديم طلب يوثق الامتثال لمتطلبات نظام التقييم، بالإضـــافة إلى دفع رســـوم التســـجيل والاعتماد. يجب أن يســـتوفي المشـــروع جميع المتطلبات الأساسية ويحصل على الحد الأدنى من النقاط المحددة في نظام تقييم LEED الذي تم تسجيله بموجبه.

تشمل عملية مراجعة الاعتماد ما يلي:

- تقديم الطلب

يتضـــمن الطلب الكامل نموذج خطاب LEED المطبوع والمســـتندات المطلوبة لكل متطلب أساسي ووحدة ائتمانية، مفصولة بعلامات تبويب، ومعلومات تسجيل LEED، بما في ذلك جهة الاتصال بالمشروع، ونوع المشروع، وحجمه، وعدد شاغليه، وتاريخ اكتمال البناء، إلخ.

- المراجعة الإدارية
- المراجعة الفنية
- منح الجائزة

• الجدول الزمني

مجالات نظام تقييم LEED

يشتمل نظام LEED على تسع مجالات رئيسية الموضحة في الشكل (2)، وذلك حسب آخر الإصدارات المعمول بها في النظام LEED v4.1.

الشكل (٢). مجالات تقييم نظام LEED. Green Building Council, 2025

المجال الأول: عملية تكاملية Integrative Process: دعم نتائج مشروع عالية الأداء، وفعالة من حيث التكلفة، وعادلة، من خلال تحليل مبكر للعلاقات المتبادلة بين الأنظمة.

المجال الثاني: الموقع ووسائل النقل Location and transport: يحفز هذا المجال اختيار المواقع التي تحمي الأراضي الحساسة للبناء، والتي تسمح باستخدام مجموعة من وسائل النقل البديلة بهدف التقليل من ملوثات الهواء.

المجال الثالث: الموقع المستدام Sustainable site: يركز هذا المجال على حماية الموارد الطبيعية، وتقليل مخلفات البناء، والحد من التلوث الضوئي، وإنشاء مساحات مفتوحة، وإدارة مياه الأمطار، والحد من تأثير الجزر الحرارية.

المجال الرابع: كفاءة استخدام المياه Efficient water consumption: يسعى هذا المجال إلى تقليل المياه المستخدمة داخل المبنى وفي الموقع، والحفاظ على موارد المياه.

المجال الخامس: الطاقة والغلاف الجوي Energy efficiency and atmosphere: يهدف هذا المجال إلى تحسين أداء المبنى من خلال تقليل استخدام الطاقة، وتقليل غازات التبريد الضارة التي تضر بطبقة الأوزون وتؤدي إلى تفاقم مشكلة الاحتباس الحراري.

المجال السادس: المواد والمصادر Materials and resources: تتطلب هذه الفئة إعادة التدوير، وتشجع على استخدام الموارد المتجددة والمستدامة.

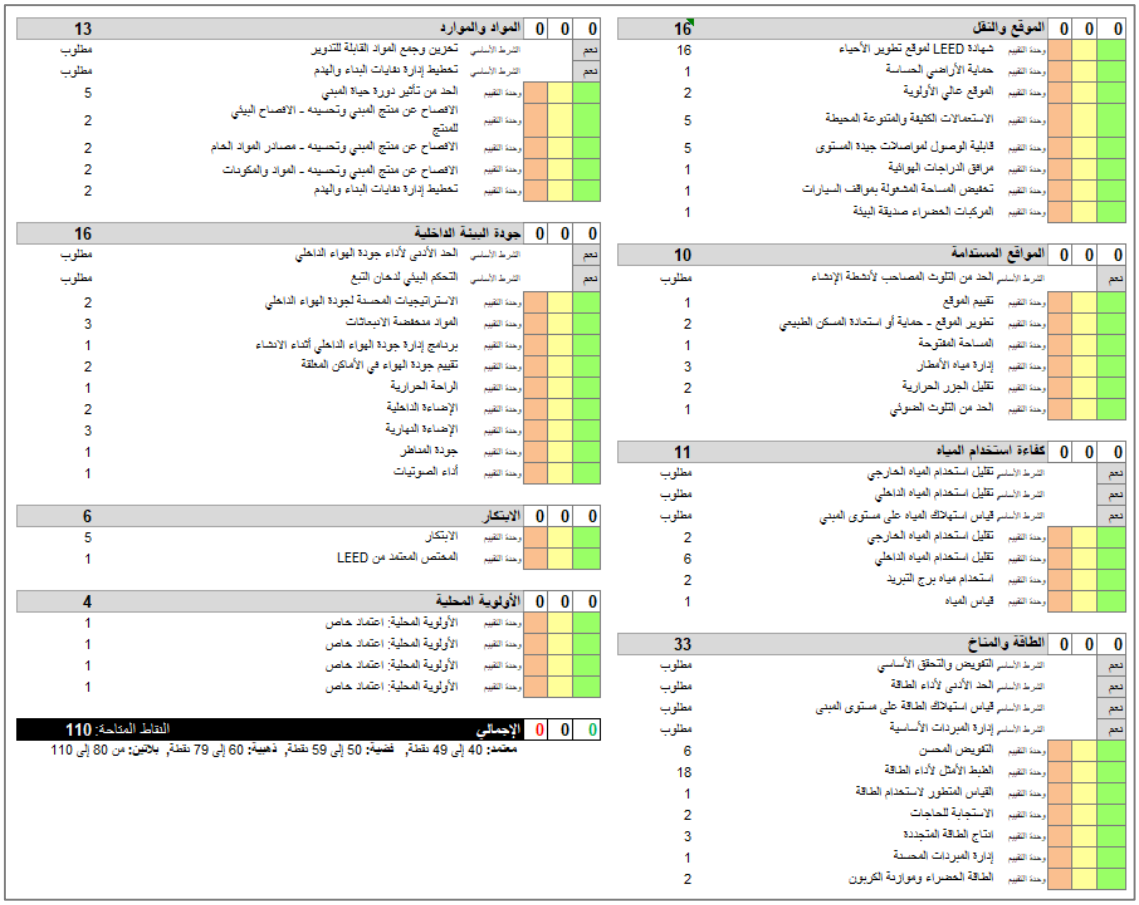
المجال السابع: جودة البيئة الداخلية Indoor environment quality: يركز هذا المجال على تحسين جودة الهواء داخل المبنى، وزيادة التحكم في الإضاءة النهارية، وزيادة المناظر الطبيعية، وتوفير مساحات عمل ملائمة مما يؤدي إلى بيئة أكثر رفاهية وإنتاجية.

المجال الثامن: الإبداع في التصميم Design innovations: يقوم هذا المجال بتشجيع المشاريع على التفكير "خارج الصندوق" والتوصل إلى استراتيجيات إبداعية تؤدي إلى مشروع أكثر مراعاة للبيئة.

المجال التاسع: الأولوية الإقليمية Regional priority credits: يركز هذا المجال على القضايا المهمة وذات الصلة والأكثر فائدة للبيئة المباشرة.

تطبيقها في المكتبات: تحقق المكتبات استفادة كبيرة من تطبيق معايير شهادة LEED، من خلال تعزيز كفاءة الطاقة، وتحسين جودة البيئة الداخلية، وتقليل النفايات. وغالباً ما تتميز المكتبات

الحاصلة على شهادة LEED بتطوير مواقع مستدامة، وترشيد استهلاك المياه، وزيادة كفاءة الطاقة، واختيار المواد الصديقة للبيئة (الشكل رقم ٣).



الشكل (٣). قائمة التحقق من تصميم المباني والبناء LEED v4. مترجم من قبل المؤلفين

فوائد الحصول على شهادة **LEED**

يُظهر تصنيف LEED التزاماً بالاستدامة من خلال استيفاء أعلى معايير الأداء. تتميز المباني الحاصلة على شهادة LEED بالمزايا التالية:

- استخدام الموارد الرئيسية بكفاءة أكبر.
- المساهمة في بيئة عمل صحية، وزيادة الإنتاجية والراحة.
- تحسين قيمة الأصول بمرور الوقت.
- تشجيع ابتكار تقنيات ومنتجات ومواد ومعدات جديدة.
- ترسيخ الريادة الوطنية في قطاع البناء وسوقه.
- التحقق من الإنجازات من خلال عملية مراجعة من قِبل جهة خارجية.
- التأهل لمجموعة متنامية من الحوافز الحكومية على مســـتوى الولايات والحكومات المحلية.
- المساهمة في تنمية قاعدة المعرفة في مجال البناء الأخضر.

شهادة بريام **(BREEAM)**

تُعد (BREEAM) Building Research Establishment's Environmental Assessment Method من أقدم أنظمة الشهادات البيئية، حيث تم تطويرها في المملكة المتحدة بواسطة BRE Group (Ferreira & Almeida, 2021). يُستخدم نظام BREEAM لتحديد وقياس أداء المباني في مجال الاستدامة، مما يضمن تحقيق المشروعات لأهداف الاستدامة واستمرار أدائها الأمثل على المدى الطويل. وهو مقياس دولي معترف به وعلامة لجودة الاستدامة في المباني، فمنذ إطلاقه في عام ١٩٩٠، قامت بريام بتصديق أكثر من ٥٩٩,٠٠٠

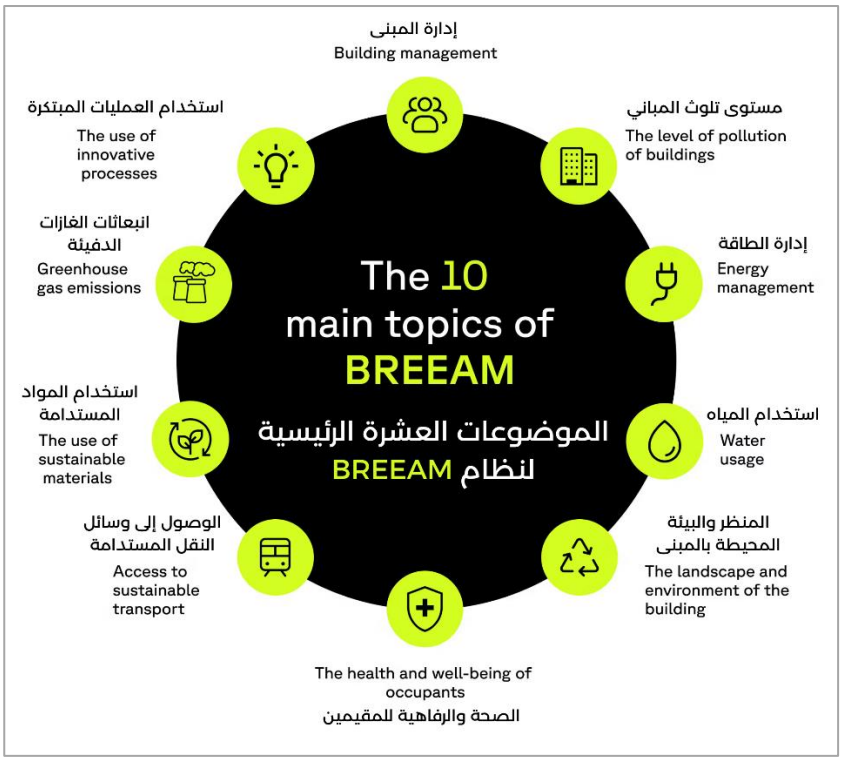
مبنى وهو الآن نشط في أكثر من ٨٦ دولة حول العالم (Norwegian Green Building Council, 2022). تعتمد عملية التقييم وفق BREEAM على مقاييس أداء معترف بها، تتم مقارنتها بمعايير مرجعية معتمدة، لتقييم مواصفات المبنى وتصميمه وإنشائه واستخدامه. وتشمل هذه المقاييس مجموعة واسعة من الفئات والمعايير تغطي مجالات مثل الطاقة والبيئة الطبيعية. يركز كل مجال على العوامل الأكثر تأثيراً، بما في ذلك خفض انبعاثات الكربون، والتصميم منخفض الأثر البيئي، والتكيف مع تغير المناخ، وتعزيز القيمة البيئية، وحماية التنوع البيولوجي.

إن دمج معايير الاستدامة وفق إطار عمل BREEAM في المراحل المبكرة من المشروع يسهم في تقليل التكاليف الإجمالية لدورة حياة المبنى، وزيادة قيمة الأصول، وتحسين تجربة المستخدمين وجودة بيئة العمل، ودعم الصورة المؤسسية ومتطلبات المسؤولية الاجتماعية للشركات (CSR) ، بالإضافة إلى المساهمة في الحد من المخاطر المستقبلية (BRE Global, 2013)، و يهدف BREEAM إلى تقليل الأثر البيئي الناتج عن دورة حياة المباني من خلال اعتماد معايير تقييم دقيقة ومستدامة، كما تسعى إلى تمكين المباني من الحصول على اعتراف رسمي يعكس فوائدها البيئية، مما يوفر علامة بيئية موثوقة تعزز من مصداقية المباني المستدامة، وتحفيز الطلب وخلق قيمة مضافة للمباني المستدامة، بالإضافة إلى منتجات البناء وسلاسل الإمداد المرتبطة بها، مما يسهم في تعزيز الاستدامة في قطاع البناء بشكل شامل (Norwegian Green Building Council, 2022).

شهادة بريام (BREEAM) هي بمثابة شهادة اعتماد موضفات المباني الخضراء ، وكان اول صدور لها في عام ١٩٩٠ ، وصدرت لها نسخة خاصة بمنطقة الخليج في عام ٢٠٠٩ ، باسم (BREEAM-Gulf) وكان الهدف منها مراعاة ظروف منطقة الخليج حيث التفاوت الواضح في طبيعة الأجواء فيها عن باقي المناطق الأخرى وخاصة المناطق ذات الاجواء الباردة.

فئات تقييم **BREEAM**

يقدم نظام BREEAM إطاراً شاملاً لتقييم الاستدامة، يقيس القيمة المستدامة من خلال مجموعة من الفئات، ويُعتمد هذا الأداء من خلال شهادة طرف ثالث. كل فئة من هذه الفئات تتعامل مع عوامل مؤثرة تشمل التصميم منخفض الأثر البيئي، تقليل انبعاثات الكربون، متانة التصميم ومرونته، التكيف مع تغير المناخ، والقيمة البيئية وحماية التنوع البيولوجي، أنظر الشكل رقم (٤)



الشكل (4) موضوعات الرئيسية لنظام BREEAM، من إعداد المؤلفين

١. **الإدارة :(Management)** تقييم فعالية إدارة المشروع في جميع مراحله، بما في ذلك التخطيط والإشراف على الاستدامة.

٢. **المياه :(Water)** يقيس كفاءة استخدام المياه داخل المبنى، بما في ذلك تقنيات الحفاظ على المياه وتقليل الفاقد.

٣. **الطاقة :(Energy)** يركز على تقليل استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة استخدام الطاقة داخل المبنى، ويشمل أيضاً استخدام مصادر الطاقة المتجددة.

٤. **النقل :(Transport)** يقيم تأثير الموقع على تسهيل الوصول إلى وسائل النقل المستدامة ويشجع على تقليل الاعتماد على السيارات.

٥. **الصحة والرفاهية :(Health & Wellbeing)** يركز على توفير بيئة صحية للمستخدمين من خلال تحسين جودة الهواء الداخلي، الإضاءة الطبيعية، والراحة العامة.

٦. **الموارد :(Resources)** يهدف إلى استخدام الموارد بشكل أكثر كفاءة، بما في ذلك تحسين استهلاك المواد واستخدام الموارد المتجددة.

٧. **المرونة :(Resilience)** يقيم قدرة المبنى على التكيف مع التحديات المستقبلية مثل تغير المناخ والكوارث الطبيعية.

٨. **استخدام الأراضي والبيئة الطبيعية :(Land Use & Ecology)** يقيم التأثير البيئي للموقع، بما في ذلك حماية البيئة الطبيعية والحفاظ على التنوع البيولوجي.

٩. **التلوث :(Pollution)** يركز على الحد من التلوث الناجم عن المبنى خلال فترة بنائه وتشغيله، بما في ذلك تلوث الهواء والماء.

١٠. **المواد :(Materials)** يقيم المواد المستخدمة في البناء، مع التركيز على استخدامها بشكل مستدام وآمن للبيئة.

١١. **النفايات :(Waste)** يعزز استراتيجيات إدارة النفايات خلال البناء والتشغيل، بما في ذلك تقليل النفايات وإعادة التدوير.

١٢. **الابتكار :(Innovation)** يشجع على الابتكار في استخدام تقنيات جديدة وأساليب تصميم تساهم في تحقيق أهداف الاستدامة.

ويتم تنفيذ التقييم عبر عمليتين رئيسيتين:

١. أداء الأصل :(Asset Performance) يُقيّم الخصائص الثابتة للمبنى مثل التصميم، الإنشاء، والخدمات الثابتة.

٢. أداء الإدارة (Management Performance): يُقيّم السياسات والممارسات الإدارية المتعلقة بتشغيل المبنى (BRE Global, 2013).

تصنيفات BREEAM

تعكس شهادة BREEAM الأداء الذي حققه المشروع وأصحاب المصلحة فيه، وفقاً لمعايير BREEAMومعاييره المرجعية. تتيح هذه التصنيفات المقارنة بين المشاريع وتوفر ضماناً بشأن الأداء والجودة وقيمة الأصل.

تتراوح تصنيفات BREEAM من مقبول (Pass)، وجيد (Good)، وجيد جداً (Very Good)، ممتاز (Excellent)، واستثنائي (Outstanding). ويتم تمثيل هذه التصنيفات من خلال سلسلة من النجوم على شهادة BREEAM. أنظر شكل رقم ٥.

BREEAM rating		% score
Outstanding	★★★★★	≥85
Excellent	☆★★★★	≥70
Very good	☆☆★★★	≥55
Good	☆☆☆★★	≥45
Pass	☆☆☆☆★	≥30
Unclassified	☆☆☆☆☆	<30

الشكل (5) تصنيفات نظام BREEAM، مأخوذ من: https://breeam.com/about/how-breeam-works

- مستوى ٢٥% أو اكثر المبنى مقبول (25 < Pass)
- مستوى ٤٦% أو اكثر المبنى جيد (40 > Good)
- مستوى ٥٥% أو اكثر المبنى جيد جدا (55 > Very Good)
- مستوى في حدود ٧٠ نقطة أو اكثر المبنى ممتاز (70 > Excellent)
- مستوى في حدود أكثر من ٨٥ نقطة المبنى مرموق (٨٥ > Outstanding)

عملية تقييم **BREEAM**

يُجري مُقيّمو BREEAM مُرخصون تقييمات BREEAM، وتمر بمراحل مُتعددة، منها:

- التقييم المُسبق: تحديد التقييم المُحتمل وتحديد التحسينات
- تقييم مرحلة التصميم: تقييم تدابير الاستدامة المُعتمدة في التصميم
- مراجعة ما بعد الإنشاء: التحقق من مُطابقة الممارسات التشغيلية لأهداف مرحلة التصميم
- الشهادة النهائية: تأكيد التقييم بعد فحوصات ضمان الجودة

تُمكّن هذه العملية فرق المشروع من دمج الاستدامة مُبكراً في دورة حياة تجهيز المكاتب مع ضمان أدلة قوية على الامتثال، وقد تستغرق التقييمات من ٦ إلى ١٢ شهراً، وتستمر الشهادة لمدة ٣ سنوات، وبعدها تحتاج المكاتب إلى تجديد تقييم BREEAM الخاص بها (Watson, 2024).

أقسام ومعايير التقييم البيئي في نظام BREEAM

تُمنح الاعتمادات عبر ١٠ فئات من الاستدامة تشمل عدداً من القضايا، كما هو ملخص في الجدول.

الإدارة Management	الصحة والرفاهية Health & Wellbeing
•ملخص المشروع والتصميم •تكلفة دورة الحياة وتخطيط مدة الخدمة •ممارسات البناء المسؤولة •التشغيل التجريبي وتسليم المشروع •خدمات ما بعد التسليم	•الراحة البصرية •جودة الهواء الداخلي •الراحة الحرارية •الأداء الصوتي •الأمان •بيئة آمنة وصحية
الطاقة Energy	**النقل Transport**
•تقليل استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون •مراقبة الطاقة •الإضاءة الخارجية •التصميم منخفض الكربون •التخزين البارد الموفر للطاقة •أنظمة النقل الموفرة للطاقة •أنظمة المختبرات الموفرة للطاقة •المعدات الموفرة للطاقة	•تقييم وسائل النقل وخطة السفر •تدابير النقل المستدام
المياه Water	**المواد Materials**
•استهلاك المياه •مراقبة المياه	•الآثار البيئية للمنتجات الإنشائية – تقييم دورة حياة المبنى(LCA)

•كشف تسرب المياه •معدات موفرة للمياه	•الآثار البيئية للمنتجات الإنشائية – إعلانات المنتجات البيئية (EPD) •المصادر المسؤولة للمنتجات الإنشائية •التصميم من أجل المتانة والمرونة •كفاءة استخدام المواد
النفايات Waste	**استخدام الأراضي والبيئة الطبيعية Land Use & Ecology**
•إدارة نفايات البناء •استخدام الركام المعاد تدويره والمستخرج من مصادر مستدامة •النفايات التشغيلية •التشطيبات الغير مخصصة (للمكاتب فقط) •التكيف مع تغير المناخ •التصميم من أجل التفكيك وقابلية التكيف	•اختيار الموقع •تحديد وفهم المخاطر والفرص الخاصة بالمشروع •إدارة التأثيرات السلبية على البيئة الطبيعية •التغيير وتعزيز القيمة البيئية •الإدارة والصيانة البيئية طويلة الأمد
التلوث Pollution	**الابتكار Innovation**
•تأثير المواد المبردة •جودة الهواء المحلي •إدارة الفيضانات ومياه السطح •الحد من التلوث الضوئي الليلي •الحد من التلوث الضوضائي	•الابتكار

(BREEAM Accredited Professional, 2023)

فوائد الحصول على شهادة **BREEAM**

أصبحت شهادة **BREEAM** (الطريقة البريطانية لتقييم البيئة العمرانية) إحدى المعايير الرائدة في تقييم الاستدامة البيئية للمباني، نظراً لما توفره من مزايا متعددة تشمل الأبعاد الاقتصادية، والصحية، والبيئية، مما يجعلها خياراً استراتيجياً لأصحاب ومطوري العقارات.

أولاً: الكفاءة الاقتصادية

تُعنى معايير BREEAM بتقييم كفاءة النظم الحيوية في المبنى، مثل التدفئة، والإضاءة، وإدارة المياه. وتؤدي هذه الكفاءة إلى تقليل استهلاك الموارد، مما يسهم في خفض تكاليف التشغيل والصيانة على المدى الطويل. كما أن الاستثمار في مبانٍ حاصلة على شهادة BREEAM يمكن أن يُترجم إلى ارتفاع في القيمة السوقية وزيادة جاذبيتها للمستأجرين والمستثمرين.

ثانياً: الفوائد الصحية والاجتماعية

يرتبط الأداء الاجتماعي لشهادة BREEAM بمبادئ الحوكمة البيئية والاجتماعية والمؤسسية (ESG)، إذ تأخذ المعايير بعين الاعتبار عناصر مثل جودة البيئة الداخلية، وراحة المستخدمين، والمشاركة المجتمعية. وتوفر هذه المباني بيئة صحية تشمل إضاءة طبيعية كافية، وراحة حرارية وصوتية محسّنة، وسهولة وصول شاملة، مما يعزز من سلامة القاطنين ورفاهيتهم.

ويُشير الدكتور إريك والين إلى أن التركيز على الجوانب الصحية والرفاهية في تصميم المباني يسهم في خلق بيئات عمرانية مسؤولة اجتماعياً، تدعم الإنتاجية والرضا الوظيفي، وتُعزز الصحة المجتمعية بشكل عام.

ثالثاً: الفوائد البيئية

تدعم شهادة BREEAM ممارسات البناء المستدام من خلال تشجيع الحد من النفايات، وخفض انبعاثات الكربون، والمحافظة على الموارد الطبيعية. كما تسعى إلى تعزيز التنوع البيولوجي عبر تحسين المساحات الخضراء وبيئات الحياة البرية في محيط المبنى. هذه المبادئ تسهم في تقليل البصمة البيئية للمباني وتدعم التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون (Karlberg, 2023).

شهادة إيدج **(EDGE)**

(التميز في التصميم لتحقيق كفاءة أكبر) Excellence in Design for Greater Efficiencies هو معيار ونظام لتصنيف المباني الخضراء بالإضافة إلى تطبيق إلكتروني يركِّز على تعزيز كفاءة استخدام الموارد في المباني. وقد طوّرت مؤسسة التمويل الدولية (IFC)، إحدى مؤسسات مجموعة البنك الدولي، هذا النظام عام ٢٠١٤ لتمكين الأسواق الناشئة من التوسُّع في إنشاء مبانٍ عالية الكفاءة في استخدام الموارد بطريقة سريعة وسهلة وميسورة التكلفة.

يتيح نظام EDGE للمطورين والمُنشئين تحديد أكثر الاستراتيجيات فعالية من حيث التكلفة لتقليل استهلاك الطاقة والمياه والطاقة الكامنة في المواد، ويتم التحقق من الاستراتيجيات التي يتم دمجها ضمن تصميم المشروع بواسطة مدقق EDGE، ثم تصديقها من قبل مجلس المباني الخضراء (GBCI).

يتكوَّن نظام EDGE من:

- **برنامج EDGE:** وهو تطبيق إلكتروني متاح مجاناً عبر الإنترنت من خلال موقع edgebuildings.com، يمكِّن المستخدمين من تحديد أفضل توليفة من استراتيجيات تصميم المباني لتحقيق أعلى عائد على الاستثمار.
- **المعيار العالمي** :يتطلَّب نظام EDGE تحقيق تخفيض متوقع لا يقل عن ٢٠٪ في استهلاك الطاقة والمياه والطاقة الكامنة في المواد، مقارنة بمبنى قياسي محلي.

- **نظام الشهادات** :تضمن شهادة GBCI توثيق الإنجازات التي يحققها المشروع، بتكلفة معقولة لمختلف أنواع المباني سواء الجديدة أو القائمة.

يوضح الشكل (٦) خطوات الحصول عل شهدة EDGE.

الشكل (6) خطوات الحصول على شهادة EDGE، إعداد المؤلفين

أهداف نظام EDGE

يسعى نظام EDGE إلى:

- تحقيق كفاءة في استهلاك الموارد (المياه، الطاقة، والمواد الإنشائية).
- تعزيز ثقافة البناء الأخضر عبر اعتماد المباني التي تحقق وفورات لا تقل عن ٢٠% في استهلاك الطاقة والمياه والطاقة المتجسدة في المواد مقارنةً بالحالة المحلية القياسية (Base Case).
- إتاحة البناء الأخضر لشرائح أوسع، خاصة في الدول النامية، من خلال إجراءات تقييم وتوثيق بسيطة وتكلفة معقولة (Maeda & Dixon, 2023)

مستويات الشهادات المتاحة ضمن نظام EDGE

تُمنح شهادة EDGE Certified للمشاريع التي تحقق الحد الأدنى المطلوب وهو توفير متوقّع بنسبة ٢٠٪ في استهلاك الطاقة واستهلاك المياه والطاقة الكامنة في المواد، مقارنةً بمبنى قياسي محلي.

أما المشاريع التي تحقق توفيراً متوقعاً بنسبة ٤٠٪ أو أكثر في استهلاك الطاقة في الموقع، بالإضافة إلى توفير لا يقل عن ٢٠٪ في استهلاك المياه والطاقة الكامنة في المواد، فيتم الاعتراف بها تلقائياً بشهادةEDGE Advanced .

يتم عرض نسب التوفير المتوقعة على شهادات التصديق. ويتضمن مسار الحصول على شهادة EDGEإصدار شهادة أولية خلال مرحلة التصميم بعد اجتياز تدقيق التصميم، يليها إصدار الشهادة النهائية في نهاية مرحلة ما بعد البناء بعد اجتياز تدقيق الموقع.

كما يتوفر مستوى ثالث من الشهادات، وهو EDGE Zero Carbon، للمشاريع التي سبق أن حققت شهادة EDGE Advanced.

(أي أنه معتمد بتوفير متوقع لا يقل عن ٤٠٪ في استهلاك الطاقة، بالإضافة إلى ٢٠٪ على الأقل في استهلاك المياه والطاقة الكامنة في المواد). كما يجب أن يحقق المشروع معدل إشغال لا يقل عن ٧٥٪ لمدة لا تقل عن عام واحد.

يجب على المشروع أن يؤمن ١٠٠٪ من احتياجاته من الطاقة من مصادر متجددة سواء في الموقع أو خارجه، أو أن يشتري تعويضات كربونية للوصول إلى نسبة ١٠٠٪. ويجب احتساب جميع أشكال استهلاك الطاقة، بما في ذلك الوقود الثانوي مثل الديزل والغاز النفطي المسال (LPG).

مزايا نظام EDGE

- **سهولة الاستخدام وسرعة الإجراءات :**النظام مصمم ليكون سهل التطبيق وسريع في إصدار الشهادات.
- **تكلفة معقولة :**رسوم الاعتماد منخفضة مقارنة بأنظمة الشهادات الأخرى، ما يجعله مناسباً للأسواق الناشئة.
- **اعتراف عالمي :**شهادة EDGE معترف بها عالمياً ومدعومة من مجموعة البنك الدولي.
- **دعم اتخاذ القرار :**التطبيق الإلكتروني يساعد في حساب العائد على الاستثمار بسرعة، ما يعزز اتخاذ قرارات استثمارية مستنيرة في مجال البناء الأخضر. (International Finance Corporation, 2025)

خطوات الحصول على شهادة **EDGE**

آلية التقييم وترجيح النتائج

تُحسب النتيجة النهائية بناءً على متوسط الأداء في كل مجال وفق أوزان محددة. ويُمنح المشروع إحدى الشهادات التالية حسب النسبة النهائية:

مستوى الشهادة	النسبة المطلوبة
البلاتينيوم	≥ 80%
الذهب	≥ 65%
الفضة	≥ 50%
البرونز	≥ 35% للمباني القائمة

تمر عملية التقييم بأربع مراحل: (١) التحضير والتسجيل، (٢) تقديم الوثائق، (٣) مراجعة المعايير والتحقق، (٤) إصدار الشهادة النهائية. غالباً ما يُمنح الاعتماد في إطار فعاليات أو معارض رسمية لتعزيز صورة المشروع في السوق العقاري الأخضر.

نظام **DGNB** نموذج شامل لتقييم الاستدامة المبنية على دورة الحياة

يُعد نظام **DGNB** (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) أحد أكثر أنظمة تقييم المباني استدامةً وتوازناً في أوروبا، وقد تم تطويره في ألمانيا عام ٢٠٠٨ ليعكس النهج الألماني في التخطيط المعماري القائم على التفكير الشمولي وتكامل الأداء طويل الأجل والتكامل بين الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية، ويتميز عن غيره من أنظمة التقييم مثل LEEDو BREEAM التي تُركّز على الجوانب البيئية فقط بأنه لا يقتصر على مؤشرات التصميم، بل يعتمد على تقييم الأداء الفعلي للمبنى بناءً على دورة الحياة الكاملة ويأخذ في الحسبان التأثيرات الاقتصادية والاجتماعية والتقنية والوظيفية إلى جانب التأثيرات البيئية (Ferreira et al., 2023; DGNB, 2020)

المجالات والمعايير الأساسية لنظامDGNB

يعتمد نظام DGNB على **ستة مجالات رئيسية** تشمل ما مجموعه **37معياراً فرعياً**، وتُمنح النقاط وفق نسب ترجيح ثابتة كما يلي:

١. إنشاء المشروع باستخدام تطبيقEDGE

يبدأ الفريق بإنشاء المشروع عبر تطبيق الـ **EDGE**المجاني على الويب، وتسجيل المعلومات الأساسية للمبنى، مع إمكانية بدء التقييم الذاتي لإدخال معايير التصميم والإجراءات الكفيلة بتحقيق الكفاءة.

٢. تسجيل المشروع لدى GBCI ودفع رسوم التسجيل

عند اختيار "تقديم طلب الشهادة" داخل التطبيق، يتم اختيار **GBCI**بوصفه الجهة المانحة للشهادة. بعد إرسال الطلب، تستلم ما يصل إلى يومي عمل فاتورة التسجيل (٣٤٩ دولاراً أمريكيّاً) ويجب دفعها ليُعتبر المشروع مسجّلاً رسمياً.(edge.gbci.org)

٣. اختيار مدقق EDGE (EDGE Auditor)

يختار فريق المشروع مدققاً معتمداً من **GBCI**لإجراء مراجعتين: مراجعة التصميم أثناء مرحلة التصميم، ومراجعة الموقع بعد انتهاء البناء. يجب توقيع العقد قبل تقديم الطلب للشهادة.

٤. تقديم الطلب ودفع رسوم الشهادة

يرفع الفريق الوثائق الداعمة عبر تطبيقEDGE ، بعد تحديد الإجراءات المطلوب تحقيقها. تُدفع رسوم الشهادة النهائية بعد تأكيد جاهزية الطلب، ويبدأ التدقيق الفني فور استلام **GBCI** للدفعة.(edge.gbci.org)

٥. مراجعة التصميم والموقع (Design & Site Audit)

- **التدقيق التصميمي (Design Audit)** يتم تقديم الوثائق على محاَدة المدقق الذي يحدد قبول أو رفض كل معيار، ويترتب على ذلك التوصية بمنح شهادة أولية **Preliminary Certificate**.
- **تدقيق الموقع (Site Audit)** بعد البناء، يتحقق المدقق من تطبيق الإجراءات المعلن عنها، لتتم التوصية بمنح شهادة **EDGE Certification** النهائية (edge.gbci.org).

٦. استلام الشهادة النهائيّة والترويج للمشروع

بعد موافقة **GBCI**، تُمنَح الشهادة النهائية. إذا تم تحقيق ٤٠% أو أكثر من التوفير في الطاقة، بالإضافة إلى ٢٠% وفورات في المياه والطاقة المتجسدة، تُمنح شهادة **EDGE Advanced** دون رسوم إضافية .(edge.gbci.org) يُسمح باستخدام شعار الشهادة ضمن الأدلة التسويقية بحسب إرشادات IFC.

أ. الجودة البيئية (Environmental Quality – 22.5%)

يُعنى هذا المجال بتقليل التأثيرات البيئية للمبنى خلال دورة حياته، ويشمل:

- التأثير على التغير المناخي (ECO1.1) يُقيّم انبعاثات غازات الدفيئة على مدار دورة الحياة.
- كفاءة استخدام الموارد (ECO1.2) يقلل استخدام الموارد الطبيعية في المواد والعمليات.
- جودة الهواء الداخلي (ENV1.2) يهدف إلى تقليل التلوث الداخلي لحماية صحة المستخدمين.

- التأثير على النظام البيئي المحلي (ENV2.1) حماية التنوع البيولوجي وتقليل التعدي على الأراضي.

2. الجودة الاقتصادية **(Economic Quality – 22.5%)**

تُركّز على الجدوى المالية واستدامة الاستثمار، وتشمل:

- تكاليف دورة الحياة (ECO1.3) تُقارن التكلفة الشاملة مقابل الفوائد البيئية.
- القيمة العقارية المستدامة (ECO2.1) يُقيّم مدى ثبات قيمة المبنى في السوق.
- المرونة الاقتصادية (ECO2.2) يقيس قابلية المبنى للتكيّف مع التغيرات الوظيفية دون تكلفة مفرطة.

3. الجودة الاجتماعية والثقافية والوظيفية **(Sociocultural & Functional Quality – 22.5%)**

تُعزّز هذا المجال جودة الحياة للمستخدمين من خلال:

- **الراحة الحرارية والصوتية والبصرية** .(SOC1.1–SOC1.3)
- **إمكانية الوصول الشامل** لذوي الإعاقة وكبار السن.(SOC2.1)
- **الهوية الثقافية والمعمارية** (SOC2.2) تعكس اندماج التصميم مع الثقافة المحلية.
- **مرونة الفضاءات الداخلية** .(SOC3.1) يُحفز على قابلية المبنى لإعادة الاستخدام بمرور الزمن.
- **تأثير التصميم على الصحة النفسية والبدنية** .(SOC3.2)

4. الجودة التقنية **(Technical Quality – 22.5%)**

تُركّز على كفاءة الأنظمة الفنية، وتشمل:

- **أداء أنظمة الطاقة والمياه والتهوية** .(TEC1.1)
- **مقاومة الحريق وسهولة الصيانة** .(TEC1.2)
- **اعتمادية النظام الإنشائي والمرونة التكنولوجية** .(TEC1.3)
- **مدى تطبيق الابتكار التقني في البناء**.(TEC1.4)

5. جودة العملية**(Process Quality – 5%)**

تشجع على الإدارة المتكاملة للمشروع منذ التخطيط حتى التشغيل، من خلال:

- **تحديد الأهداف البيئية في المراحل المبكرة** .(PRO1.1)
- **مشاركة أصحاب العلاقة والمستخدمين النهائيين** .(PRO1.2)
- **توثيق الأداء البيئي ومؤشرات المتابعة** .(PRO2.1)
- **آليات التقييم بعد الإشغال** .(PRO2.2)

6. جودة الموقع**(Site Quality – 5%)**

تُقيّم تكامل المشروع مع بيئته الحضرية، ويشمل:

- **الوصول إلى وسائل النقل العام والبنية التحتية** .(SITE1.1)
- **تحسين الكثافة العمرانية وتوفير الخدمات** .(SITE1.2)
- **خفض التمدد الحضري والاستخدام الكفء للأرض** .(SITE1.3)
- **التأثير البصري والمعماري على المنطقة المحيطة** .(SITE1.4)

التميز المنهجي لنظام**DGNB**

أظهرت الدراسة المقارنة التي أجراها **Ferreira et al. (2023)** أن DGNB يتميز بقدرته على دمج مؤشرات الأداء التشغيلي مثل استهلاك الطاقة الفعلي والتكلفة التشغيلية، مما يجعله الأنسب للمباني التجارية، وخاصة البيع بالتجزئة. كما يوفر النظام إطاراً مرناً يسمح بتكييف

المعايير وفق السياقات الإقليمية والثقافية، وهو ما يمنحه أفضلية مقارنة بالأنظمة الأخرى مثل LEEDالتي تعتمد على معايير ثابتة وأحياناً غير مرنة.

كما أن الدمج المتوازن بين الجوانب الاجتماعية والاقتصادية والبيئية يجعل من DGNB نظاماً مثالياً لتحقيق الاستدامة الشاملة. لا يكتفي بقياس الكفاءة الطاقية، بل يمتد لتقييم جودة الحياة، القيمة الاقتصادية، وتقنيات البناء، مما يعزز من استمرارية المشروع وملاءمته للتحولات المستقبلية.

أهمية **DGNB** في سياق الاستدامة

يُعَدّ نظام DGNB من أكثر الأنظمة تقدماً من حيث دمجه بين الاعتبارات البيئية والاقتصادية والاجتماعية في آنٍ واحد، كما يُحفّز المطورين والمصممين على تبني نماذج تخطيط طويلة الأمد تُراعي تغير الاحتياجات والتحديات المناخية المستقبلية. وتكمن ميزة هذا النظام في قدرته على تعزيز الجودة الشاملة للمبنى، بدلاً من التركيز الضيق على الاستهلاك الطاقي فقط، مما يجعله مناسباً للمباني السكنية والتجارية والصناعية والحضرية على حد سواء.

خلاصة أنظمة الشهادات **BREEAM** و **LEED**و **DGNB**و**EDGE**

تحليل مقارن للأنظمة والمعايير البيئية للمباني الخضراء

تُعد أنظمة تصنيف المباني الخضراء أدوات أساسية لتوجيه وتقييم أداء الأبنية من منظور الاستدامة البيئية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتعزيز الرفاهية المجتمعية. وقد تطورت هذه الأنظمة لتلائم السياقات المناخية والاقتصادية والاجتماعية المتباينة حول العالم. ومن بين أبرز هذه الأنظمة وأكثرها اعتماداً دولياً: **LEED** (Leadership in Energy and Environmental Design)، الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة -الأمريكي و **BREEAM** (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)، المنهج البريطاني لتقييم البيئة العمرانية - البريطاني و **EDGE** (Excellence in Design for Greater Efficiencies) التميّز في التصميم من أجل كفاءة الموارد - العالمي المطوَّر من

قِبل مؤسسة التمويل الدولية و **DGNB** (German Sustainable Building Council)الجمعية الألمانية للبناء المستدام. ورغم أن جميع هذه الأنظمة تسعى إلى تحقيق أهداف بيئية مشتركة، إلا أنها تختلف من حيث النهج والمنهجية والمجالات التي تركز عليها. يُعالج هذا القسم تحليلاً مقارناً دقيقاً لهذه الأنظمة من حيث نطاق التغطية، الكفاءة الاقتصادية، الخصائص التقنية، ومدى التوافق مع أهداف التنمية المستدامة.

يُعد **نظامBREEAM** ، الذي تم تطويره في المملكة المتحدة عام ١٩٩٠، أحد أقدم أنظمة التقييم وأكثرها استخداماً عالمياً، حيث يُطبّق في أكثر من ٨٥ دولة. يعتمد هذا النظام على تقييم النسبة المئوية، ويشمل مجالات مثل إدارة المشروع، الطاقة، الصحة والراحة، المواد، النقل، المياه، النفايات، التلوث، استخدام الأراضي، الابتكار، والبيئة الطبيعية .(BRE Global, 2021) يُتيح BREEAMمرونة في التعويض بين المجالات، إذ يمكن تعويض الأداء الضعيف في جانب معين من خلال التميز في جانب آخر.

أما **نظامLEED** ، الذي أُطلق في الولايات المتحدة عام ١٩٩٨، فيُعتبر الأكثر استخداماً على مستوى العالم، ويُعتمد في أكثر من ١٦٨ دولة. يُقيّم LEED المباني وفق نظام النقاط عبر ست فئات رئيسية، تشمل المواقع المستدامة، وكفاءة المياه، والطاقة، والمواد، وجودة البيئة الداخلية، والنقل والموقع، إلى جانب فئتين إضافيتين هما الابتكار والأولويات الإقليمية (U.S. Green Building Council - USGBC, 2019). يتطلب النظام استيفاء متطلبات إلزامية في كل فئة، ما يضمن حداً أدنى من الأداء البيئي.

من جهة أخرى، يتميز **نظام DGNB** الألماني، الذي تأسس عام ٢٠٠٨، بمنهج شمولي يركّز على دورة حياة المبنى. يُقيّم النظام المباني وفق ستة مجالات أساسية: البيئة، الاقتصاد، الجوانب الاجتماعية والثقافية، الجوانب الفنية، جودة العملية، والموقع .(DGNB, 2014) يمنح كل من المجالات الأربعة الأولى وزناً متساوياً (٢٢,٥%)، بينما يحصل المجالان الأخيران على ٥%

لكل منهما. ويُركّز هذا النظام على تحقيق التوازن بين الجدوى الاقتصادية والجوانب البيئية والاجتماعية.

أما **نظامEDGE** ، الذي طوّرته مؤسسة التمويل الدولية (IFC) التابعة للبنك الدولي في عام ٢٠١٤، فهو يختلف عن الأنظمة الأخرى بتركيزه على الكفاءة في استخدام الموارد، خاصة في الدول النامية. يُقيّم EDGE المباني بناءً على ثلاثة معايير رئيسية فقط: توفير الطاقة، توفير المياه، وتقليل الطاقة المجسدة في المواد (International Finance Corporation - IFC, 2020). للحصول على الشهادة، يجب أن يحقق المشروع توفيراً بنسبة ٢٠% على الأقل في كل معيار. ويُعد EDGE أقل تكلفة، ويستخدم منصة رقمية مجانية لتقدير الأداء البيئي.

المزايا النسبية

- **نظام LEED** يتميز بانتشاره الواسع واعتماده في أكثر من ١٦٥ دولة، ما يمنحه قوة معيارية عالمية ويسمح بإجراء مقارنات دولية موثوقة. كما يتمتع بنظام نقاط مرن يسمح بتخصيص استراتيجيات التصميم حسب طبيعة المشروع (U.S. Green Building Council, 2025).
- **نظام BREEAM** يتمتع بشمولية عالية من حيث التغطية التقنية، إذ يتناول مجموعة موسعة من المعايير تشمل الصحة والرفاهية، التلوث، المرونة، واستخدام الأراضي، ما يجعله من أكثر الأنظمة تفصيلاً وصرامة (Norwegian Green Building Council, 2022).
- أما **نظام EDGE** فقد صُمم خصيصاً ليستجيب لاحتياجات الأسواق الناشئة، ويتميز ببساطته وسهولة تطبيقه، إضافة إلى وجود تطبيق إلكتروني يُتيح للمستخدمين احتساب وفورات الموارد بطريقة مباشرة وتفاعلية (International Finance Corporation, 2025).

- يمتاز **DGNB** بالتركيز على الأداء الفعلي للمبنى وليس فقط على مواصفات التصميم، حيث يشمل أكثر من ٣٧ معياراً موزعة على ستة مجالات، وتمنح الأوزان بشكل متوازن (٢٢,٥% لكل من: البيئية، الاقتصادية، الاجتماعية، التقنية، و٥% لكل من الجودة الإدارية والموقع). كما يسمح بتخصيص الأوزان بما يتناسب مع أولويات المشروع، مما يُعزز من مرونته خاصة في المشاريع ذات الطابع الثقافي والخدمي مثل المكتبات (Ferreira et al., 2023).

الفلسفة والمنهجية التقييمية

- يتبنى نظام **LEED** فلسفة قائمة على تجميع النقاط مقابل تحقيق معايير متعددة تشمل: كفاءة الطاقة، المياه، المواد، الابتكار، والموقع، وتختلف مستويات الشهادة بحسب مجموع النقاط المحققة.(U.S. Green Building Council, 2025)
- أما نظام **BREEAM**، فيعتمد على تقييم الأداء البيئي من خلال معايير صارمة تُغطي جوانب متنوعة كالتلوث، الابتكار، الصحة والرفاهية، مرونة المبنى، والتكيف المناخي (Norwegian Green Building Council, 2022).
- يُركز نظام **EDGE** على البساطة، ويشترط توفير ٢٠% على الأقل في استهلاك الطاقة والمياه والمواد مقارنة بخط الأساس المحلي ليحصل المشروع على الشهادة (International Finance Corporation, 2025).
- يتبنى **DGNB** منهجية تقييم تعتمد على الأداء الفعلي للمبنى على مدار دورة حياته الكاملة، حيث يتم احتساب مؤشرات حقيقية مثل: انبعاثات الكربون، تكاليف دورة الحياة، كفاءة أنظمة التهوية، الجودة الصوتية والبصرية، مرونة التصميم، وإمكانية الوصول الشامل. كما يُشجّع على إشراك الأطراف المعنية في كافة مراحل المشروع، بما في ذلك المستخدمين المستقبليين، مما يربط بين الاستدامة والتخطيط التشاركي (DGNB, 2020; Ferreira et al., 2023).

قابلية التطبيق والتكلفة والجدوى الاقتصادية

- تُظهر الدراسات أن تطبيق نظامي **LEED** و**BREEAM** يتطلب تكلفة إضافية أولية تتراوح بين ٢% إلى ١٠% من تكلفة البناء، إلا أن ذلك يُقابله وفورات طويلة الأجل في التشغيل والصيانة، بالإضافة إلى تعزيز قيمة العقار السوقية.(Karlberg, 2023)
- على الجانب الآخر، يُقدم **EDGE** نموذجاً منخفض التكلفة للتقييم والاعتماد، ما يجعله مثالياً للمكتبات والمؤسسات في البلدان النامية، حيث يمكن تحقيق وفورات بنسبة لا تقل عن ٢٠% في استهلاك الموارد مقارنة بالمباني التقليدية (International Finance Corporation, 2025; Maeda & Dixon, 2023).
- رغم أن **DGNB** يتطلب إعداداً متقدماً من حيث التوثيق والتحليل، إلا أنه يُوفر وفورات طويلة المدى في التشغيل والصيانة بفضل التركيز على الكفاءة الاقتصادية ودقة حسابات دورة الحياة. كما يُعزز من قيمة العقار السوقية ويُعطي بعداً استراتيجياً لتخطيط المباني الخدمية، ويُعد مناسباً للمؤسسات ذات الرؤية المستقبلية كالمكتبات الوطنية والأكاديمية (Piętocha, 2024).

البعد الاجتماعي والبيئي

- يُعزز **LEED** جودة الحياة في المباني من خلال التركيز على جودة البيئة الداخلية، الإضاءة الطبيعية، ونظم التهوية، إضافة الى تركيزه بشكل خاص على عناصر مثل الموقع، النقل المستدام وهو ما ينعكس إيجابياً على راحة المستخدمين وإنتاجيتهم .(U.S. Green Building Council, 2025).
- يولي **BREEAM** أهمية خاصة للجوانب البيئية والاجتماعية مثل الصحة المجتمعية، وحماية التنوع البيولوجي، والتصميم التكيفي، ما يجعله أكثر شمولية من الناحية الاجتماعية والبيئية، إدارة النفايات، والمشاركة المجتمعية، ما يجعله أكثر شمولية من الناحية الاجتماعية والبيئية ويُعزز الاستدامة على المدى الطويل.(Watson, 2024)

- يُركز **EDGE** على تقليل الأثر البيئي للمبنى بشكل مباشر وقابل للقياس، ويتمتع بمرونة كبيرة، حيث يمكن تطبيقه على أنواع مختلفة من المكتبات دون الحاجة إلى موارد فنية متقدمة، مما يجعله أداة فاعلة لتوسيع نطاق الاستدامة في المناطق ذات البنية التحتية المحدودة (International Finance Corporation, 2025; Maeda & Dixon, 2023).
- يتميّز **DGNB** بتقييمه المتكامل للجوانب الاجتماعية، مثل: جودة الهواء الداخلي، إمكانية الوصول، الجاذبية الجمالية، الراحة النفسية، والصحة العامة، إلى جانب الجوانب البيئية التقليدية. كما يُعزز الترابط الحضري من خلال تقييم تكامل المبنى مع محيطه وسهولة الوصول إلى المرافق العامة، ما يجعله ملائماً للمكتبات في مراكز المدن والجامعات.(DGNB, 2020)

التحديات والقيود

- يواجه **LEED** تحديات تتعلق بتعقيد متطلباته الفنية، وطول مدة الإجراءات، وارتفاع كلفة التقييم والشهادات، ما قد يُشكّل عبئاً على المؤسسات ذات الميزانيات المحدودة (Piętocha, 2024).
- يتطلب **BREEAM** إشرافاً مستمراً وتحديثاً دورياً للممارسات، كما أن ملاءمته خارج السياق الأوروبي تستوجب تكييفاً محلياً، مما قد يحد من انتشاره في بعض الدول (Watson, 2024).
- أما **EDGE**، فرغم بساطته، إلا أنه لا يغطي بعض الأبعاد التفصيلية مثل الابتكار والحوكمة البيئية الاجتماعية (ESG) بنفس العمق الموجود في النظامين الآخرين، مما يقلل من قوته التحليلية في المشاريع المعقدة.(Maeda & Dixon, 2023)
- من أبرز التحديات التي يُواجهها DGNB هو التعقيد في تطبيقه خارج أوروبا، إذ يتطلب تكييفاً محلياً دقيقاً وتوفّر بيانات تفصيلية عن الأداء البيئي والاقتصادي. كما أن كثرة

المعايير وعمقها قد تُشكل عبئاً على المشاريع الصغيرة أو محدودة الموارد (Ferreira et al., 2023).

يعرض الجدول رقم ١ مقارنة شاملة بين أربعة من أبرز أنظمة تقييم المباني الخضراء عالميًا، ويُبرز الفروقات الجوهرية بين هذه الأنظمة من حيث بلد المنشأ، نطاق الانتشار، منهجية التقييم، وعدد المعايير والمستويات المعتمدة للشهادات.

جدول١: مقارنة بين الأنظمة

Table المعيار	BREEAM	LEED	DGNB	EDGE
بلد المنشأ	المملكة المتحدة (1990)	الولايات المتحدة (1998)	ألمانيا(2008)	مؤسسة التمويل الدولية – البنك الدولي(2014)
الانتشار العالمي	+85دولة	+168دولة	21دولة	+70دولة
نطاق التقييم	شامل ومتعدد المجالات	قائم على النقاط ومتكامل	تحليلي ومبني على دورة الحياة	ثلاثي المحاور – كفاءة الموارد
عدد المعايير	أكثر من ١٠ معايير	6رئيسية + ٢ إضافية	6محاور أساسية	3معايير فقط
منهج التقييم	النسبة المئوية مع تعويض متبادل	النقاط (من أصل ١١٠)	نسب مئوية موزونة حسب المجال	تحقيق توفير ≥ ٢٠% في كل محور
مستويات الشهادة	Passإلى Outstanding	Certifiedإلى Platinum	Bronzeإلى Platinum	شهادة واحدة فقط بعد تحقيق المعايير
الاستخدام الأمثل	المكاتب، السكن، المباني التجارية	المدارس، المكاتب، الفنادق	مشاريع حضرية ومجتمعات عمرانية	المشاريع السكنية والتجارية منخفضة الكلفة
ميزة خاصة	قابلية التكييف حسب الدولة	معايير إلزامية لكل فئة	دمج الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية	منصة رقمية سهلة ومنخفضة التكلفة

الخلاصة

تمثل أنظمة الشهادات الأربع أدوات فعّالةً لدفع عجلة الاستدامة في قطاع البناء. تُقدّم أنظمة BREEAMو LEEDتقييماً شاملاً يراعي الجوانب التقنية والبيئية، بينما يبرز DGNB بنهجه المتوازن الذي يُولي اهتماماً متساوياً للعوامل البيئية والاقتصادية والاجتماعية. في المقابل، يُعد EDGEأداة مرنة وعملية لتقييم الكفاءة في استخدام الموارد، ويُناسب بشكل خاص الأسواق الناشئة والمشاريع السكنية الجماعية. في السياق البولندي، تظل BREEAM و LEEDهما النظامان الأكثر شيوعاً، إلا أن EDGE يكتسب أهمية متزايدة نظراً لتكلفته المنخفضة وملاءمته لتوسيع نطاق المباني الخضراء في قطاعات أوسع.

نماذج رائدة للمباني الثقافية المستدامة

في إطار التحول العالمي نحو ممارسات البناء الأخضر، تبرز أهمية توثيق نماذج متميزة في المؤسسات الثقافية والتعليمية. يتناول هذا الفصل ستة نماذج فعلية وفق نظم شهادات استدامة مختلفة**BREEAM** :، **DGNB**، **LEED**، و**EDGE**، مع تحليل مقارن للجوانب التقنية والمعمارية والبيئية.

١. مشروع – Jakoba Mulderhuis جامعة أمستردام(BREEAM Excellent)

يمثل هذا المبنى الجامعي في هولندا تطبيقاً ناجحاً لمعاييرBREEAM ، حيث حصل على تقييم ٧٧%، مع ١٠٠% في فئتي إدارة النفايات والنقل.(Rockfon, 2024)

- **المساحة البنائية** 25,000 :م² عبر برج مكوّن من ١٣ طابقاً وقسم بارتفاع ٦ طوابق
- **نسبة**77% :**BREEAM** ، مع ١٠٠% في فئتي إدارة النفايات والنقل.
- **كفاءة الطاقة** :توفير ٤٠% مقارنة بالحد الأدنى القانوني في هولندا.
- **إضاءة داخلية** :تصميم سقوف زجاجية ونظام تحكم بيئي متكامل.
- **إدارة النقل** :بنية تحتية للدراجات، قُرب من شبكة النقل العام.

الدروس المستخلصة:

- قابلية النقل لتصميم مستدام في الجامعات.
- مزج الفن المعماري الذكي مع كفاءة بيئية عالية.

٢. مشروع – Kö-Bogen II دوسلدورف، ألمانيا (DGNB Platinum & Diamond)

يُعد Kö-Bogen II أكبر واجهة خضراء في أوروبا، وحاصل على شهادة DGNB Platinum، وهو مبنى إداري وتجاري يشكل معلماً معمارياً في الاستدامة الحضرية (Ingenhoven Architects, 2022).

أبرز الخصائص:

- يغطي المبنى أكثر من ٣٠,٠٠٠ نبتة على مساحة واجهات تصل إلى ٨ كيلومترات، مما يخلق غطاءً نباتياً يعزل الحرارة، ويخفض درجة حرارة المنطقة المحيطة بما يصل إلى ٣ درجات مئوية.
- تم تصميم الواجهة النباتية لتوفير امتصاص إضافي لثاني أكسيد الكربون، ما يجعل المبنى أداة بيئية نشطة داخل المدينة.
- يعتمد المبنى على نظام ري ذكي يستغل مياه الأمطار ويُدار بتقنيات استشعار رقمية للتحكم في استهلاك المياه.
- تم استخدام مواد بناء قابلة لإعادة التدوير، بالإضافة إلى أنظمة زجاجية تسمح بدخول الإضاءة الطبيعية لتقليل الاعتماد على الإضاءة الاصطناعية.

الدروس المستخلصة:

- يعكس المشروع دمجاً فريداً بين الطبيعة والهندسة المعمارية، حيث تتحول الواجهة إلى عنصر بيئي حي.
- يوفر نموذجاً مبتكراً لتطبيق التصميم المستدام في المراكز الحضرية ذات الكثافة السكانية العالية.
- يمكن تكييف مفاهيم "الواجهات الحية" لتناسب المكتبات الحضرية أو مؤسسات المعرفة المفتوحة

3. مكتبة كالجاري المركزية –كندا(LEED Gold)

- الطاقة: نظام طاقة حرارية أرضية يقلل من الاعتماد على شبكة الكهرباء.
- الإضاءة: واجهات زجاجية تسمح للإضاءة الطبيعية بالانتشار بشكل واسع.
- المواد: استخدام خشب معاد تدويره، وخرسانة منخفضة الانبعاث.(Snøhetta, 2019)

الدروس المستخلصة:

- رمز بيئي في المكتبات العامة.
- تحقيق توازن بين التقنية والتجربة الثقافية.

4. نظام مكتبات فولتون كاونتي جورجيا(LEED Gold)

في ١٦ يناير ٢٠٢٠، تم منح فروع East Point و Fairburnلمكتبات مقاطعة فولتون، جورجيا، شهادة LEED Gold من مجلس المباني الخضراء الأمريكي(USGBC) ؛ تقديراً للمعايير البيئية العالية التي تم دمجها في التجديدات التي شملت الطاقة، المياه، المواد، وجودة البيئة الداخلية.(Fulton County Government, 2020)

١. **كفاءة الطاقة وخفض الانبعاثات**

- تضمنت أعمال الصيانة والتجديد تحسينات على أنظمة الإضاءة والتكييف بهدف تقليل استهلاك الطاقة.
- سجلت المكتبات انخفاضاً ملحوظاً في استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون مقارنة بالمستوى قبل التجديد، وفقاً لمنهج تقييم.LEED

٢. **تحسين استخدام المياه**

- تم تطبيق معدات سباكة موفرة للمياه، وتقنيات إعادة استخدام مياه الأمطار.
- أسهم ذلك في تقليل الاستهلاك العام وتحقيق نقاط اعتماد ضمن فئةEfficient Water Use.

٣. **جودة البيئة الداخلية**

- أُدخلت مواد خالية من المركبات العضوية المتطايرة (low VOC) مع أنظمة تهوية محسّنة.
- عزز ذلك جودة الهواء الداخلي وراحة المستخدمين.

٤. **تشجيع وسائل النقل المستدامة**

- جُهّزت المكتبات بمواقف للدراجات ومسارات مشاة متصلة بوسائل النقل العام.

٥. **الأثر المجتمعي والاقتصادي**

- أدى التحول إلى بيئة مكتبية خضراء إلى تحسين رضا المستخدمين ورفع القيمة البيئية والمعمارية.
- وفرت المكتبات تكاليف تشغيلية على المدى الطويل رغم الاستثمارات الأولية.

الدروس المستخلصة:

- نموذج قابل للتكرار في المكتبات العامة.
- يؤكد أهمية دمج حلول منخفضة الكلفة ضمن نطاق التجديد الحضري.

5. مكتبة جهنسي – الهند(EDGE Certified)

أول مكتبة في آسيا تحصل على شهادةEDGE ، أنشئت خلال ٩٠ يوماً.(IFC, 2022)

- زمن التنفيذ: فقط ٩٠ يوماً للحصول على شهادة.EDGE
- الطاقة: تغطية ١٠٠% باستخدام الألواح الشمسية.
- المياه: نظام إعادة استخدام وحصاد مياه الأمطار.
- المواد: مواد منخفضة الأثر البيئي المجسّد.(IFC, 2022)

الدروس المستخلصة:

- نموذج اقتصادي منخفض التكلفة قابل للتكرار في الدول النامية.
- تأكيد دور المكتبات المجتمعية في الاستدامة.

6. مشروع – SeeCampus Niederlausitz ألمانيا(DGNB Silver)

يُعد مشروع مركز SeeCampus Niederlausitz في مدينة Schwarzheide بولاية براندنبورغ من أبرز الأمثلة التعليمية المتكاملة التي حصلت على شهادة DGNB الفضية عام ٢٠١٢.(DGNB, 2012)

أبرز الخصائص:

- مبنى متعدد الاستخدامات يضم مدرسة ثانوية، مكتبة عامة، قاعات متعددة الأغراض، ومرافق رياضية.
- خفض انبعاثات الكربون بنسبة ٤٥% باستخدام أنظمة عزل وتهوية ومصادر طاقة متجددة.
- تحسين جودة الهواء الداخلي من خلال مواد غير سامة وتهوية طبيعية.

- ارتفاع رضا المستخدمين بنسبة ٣٠% مقارنة بالمرافق التقليدية.

الأبعاد الاقتصادية والاجتماعية:

- رغم ارتفاع التكلفة المبدئية، أدى التصميم الذكي إلى وفورات تشغيلية طويلة الأمد.
- دعم المساواة والعدالة الاجتماعية، من خلال ضمان وصول ذوي الإعاقة.

الدروس المستخلصة:

- يبرز كنموذج مرجعي للمكتبات الأكاديمية والثقافية في العالم العربي.
- يجمع بين الكفاءة البيئية، والجودة الداخلية، والتكامل الوظيفي

يُقدّم الجدول رقم ٢ مقارنة تحليلية بين نماذج تطبيقية حقيقية لأنظمة تقييم المباني الخضراء الأربعةBREEAM) ، DGNB، LEED، و(EDGE، مبيّنًا كيفية ترجمة المبادئ النظرية إلى ممارسات تصميم وتشغيل مستدامة ضمن مؤسسات تعليمية وثقافية حول العالم.

ففي إطار نظامBREEAM ، يُعدّ مشروع Jakoba University Campus في المملكة المتحدة أحد النماذج الريادية في تطبيق مفهوم العزل الحراري المتقدّم والإضاءة الطبيعية لخفض استهلاك الطاقة، محققًا نسبة أداء بيئي تجاوزت ٨٥% وفق تصنيف *BREEAM Excellent* (BRE Global, 2023).

أما في النظام الألماني DGNB، فيبرز مشروع Kö-Bogen IIفي مدينة دوسلدورف بوصفه أكبر مبنى أخضر مغطى بالنباتات في أوروبا، إذ يضم واجهة نباتية تمتد على أكثر من ٨,٠٠٠ متر مربع تسهم في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتحسين المناخ المحلي (DGNB, 2023).

كما يُعدّ مشروع SeeCampus Niederlausitz من أبرز النماذج التعليمية المعتمدة ضمن نفس النظام، بفضل دمجه بين العزل الحراري الكامل، واستخدام الطاقة المتجددة، وكفاءة إدارة المياه الداخلية والخارجية، ما أهّله للحصول على تصنيف *DGNB Platinum* (DGNB, 2023).

وفي السياق الأمريكي، يبرز مبنى مكتبة فولتون العامة في فينيكس، أريزونا، الحاصل على شهادة *LEED Gold*، والذي اعتمد على أنظمة تكييف وإضاءة عالية الكفاءة ومواد منخفضة الانبعاث(VOC) ، إضافةً إلى بنية تصميمية تُشجّع على النقل المستدام ومسارات المشاة (USGBC, 2023).

أما في إطار EDGE، فيُعد مشروع مكتبة جهنسي (Jhansi Community Library) في الهند من النماذج اللافتة للمكتبات المجتمعية منخفضة التكلفة، إذ تستخدم الطاقة الشمسية بشكل كامل وتوظّف مواد محلية منخفضة الطاقة مع نظام دورة مياه مغلقة يحقق توفيرًا يتجاوز ٢٥% من الاستهلاك التقليدي.(IFC, 2024)

تُظهر هذه الأمثلة التطبيقية أن أنظمة التقييم العالمية، رغم اختلاف مناهجها، تتقاطع في هدف واحد هو تعزيز كفاءة الموارد وتقليل الأثر البيئي، كما تكشف عن إمكانية تكامل المعايير البيئية مع الوظائف الثقافية والتعليمية، خصوصًا في سياق تصميم المكتبات الخضراء التي تجمع بين الوظيفة المعرفية والمسؤولية البيئية.

جدول ٢: مقارنة بين الأنظمة في البيئات التطبيقية

المعيار	Jakoba (BREEAM)	Kö-Bogen II (DGNB)	فولتون (LEED)	جهنسي (EDGE)	SeeCampus (DGNB)
نظام الطاقة	عزل متقدم + إضاءة طبيعية	واجهة نباتية + تبريد طبيعي	إضاءة وتكييف عالي الكفاءة	طاقة شمسية كاملة	عزل حراري + مصادر متجددة
المواد	تصميم ذكي + عناصر صوتية	نباتات حية + مواد قابلة للتدوير	مواد منخفضة الانبعاث (VOC)	مواد محلية منخفضة الطاقة	مواد غير سامة + مرنة الاستخدام
إدارة المياه	لا ينطبق	نظام ري ذكي بمياه أمطار	تقنيات إعادة استخدام المياه	دورة مياه مكتملة	كفاءة استخدام داخلي وخارجي
النقل المستدام	تقييم 100% BREEAM	موقع مركزي حضري	مسارات مشاة ودراجات	مجتمعي – محلي	تصميم يسهل الوصول الكامل
نوع المؤسسة	تعليم عالي	تجاري / إداري	مكتبة عامة	مكتبة مجتمعية	تعليمية / مكتبة عامة

تُظهر هذه النماذج تنوع المسارات نحو الاستدامة في المباني الثقافية والتعليمية، حيث يقدم كل نظام اعتماد مزايا مختلفة تُمكن المؤسسات من اختيار الأنسب حسب السياق المحلي والموارد المتاحة. وتمثل هذه النماذج فرصاً لتكرارها وتكييفها ضمن البنية التحتية المعرفية في العالم العربي، خصوصاً في ظل التحول الرقمي والبيئي المتسارع.

إرشادات الاتحاد الدولي لجمعيات ومؤسسات المكتبات (IFLA)

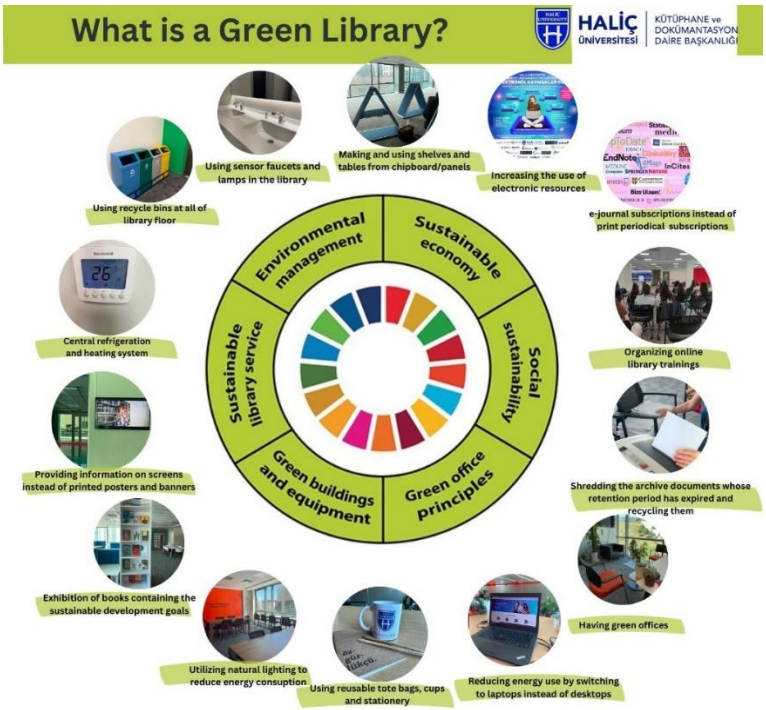
تُقدِّم مجموعة من الإرشادات العامة حول كيفية تحويل المكتبات إلى مؤسسات صديقة للبيئة، مع تسليط الضوء على أساليب تقليل الانبعاثات الكربونية وتشجيع الممارسات الخضراء بين العاملين والمستفيدين، تهدف هذه الإرشادات إلى تقديم مجموعة من التوصيات العملية وأفضل الممارسات التي يمكن تطبيقها في المكتبات أو مراكز المعلومات على اختلاف أنواعها وأحجامها.

ومن خلال تطبيق هذه الإرشادات، يمكن للمكتبات أن تُظهر التزامها بالمسؤولية البيئية، وتعزز الوعي بالقضايا البيئية والمستدامة، وتلهم التغيير الإيجابي في مجتمعاتها، وتضمن مبادئ التنوع والإنصاف والشمول، وتسهم في بناء مستقبل أكثر استدامة.

كما وتهدف الإرشادات إلى تقديم أداة شاملة لتخطيط وتنفيذ وتقييم المكتبات الخضراء والمستدامة، كما تسعى لأن تكون إطاراً لتطوير إرشادات وطنية قابلة للتطبيق على جميع أنواع المكتبات بغض النظر عن حجمها أو موقعها، مع إمكانية التكيف حسب الظروف المحلية. تعكس الإرشادات خدمات مكتبية يمكن تقديمها في معظم البلدان بواسطة موظفين متخصصين، وتدعم السياسات الحكومية الوطنية والمحلية المرتبطة بأجندة الأمم المتحدة ٢٠٣٠ وأهداف التنمية المستدامة السبعة عشر (Hauke, Mocatta, & Pun, 2025).

توجه الإرشادات إلى أمناء المكتبات، إدارات المكتبات، الهيئات التشريعية والإدارية، المصممين والمعماريين، ومديري المرافق، وغيرهم من أصحاب المصلحة المعنيين بإنشاء وإدارة وتمويل المكتبات، ويُشجع المخططون على استخدام الإرشادات لتحديد أولويات مكتباتهم بناءً على الإمكانات الواقعية في سياقاتهم، مع إمكانية السعي لتحقيق الحد الأدنى من المعايير، تحسين الخدمات، أو تطبيق أفضل الممارسات (Hauke, Mocatta, & Pun, 2025).

مبادئ المكتبات الخضراء المستدامة حسب إرشادات الإفلا (IFLA)



الشكل (7) مبادئ المكتبات الخضراء، IFLA (2024)، مأخوذ من: https://www.ifla.org/the-green-library-poster

تقليل الأثر البيئي للمباني والمعدات

١. **التقليل، إعادة الاستخدام، إعادة التدوير** :تقليل النفايات والحفاظ على الموارد.

٢. **تصميم المباني الخضراء** :دمج عناصر التصميم المستدام في إنشاء أو تجديد المكتبات.

٣. **كفاءة الطاقة** :تحسين استهلاك الطاقة من خلال أنظمة الإضاءة الفعالة، وأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء(HVAC) ، واستخدام مصادر الطاقة المتجددة.

٤. في المناطق الجافة أو ذات الطقس المعتدل، قد يوفر التهوية الطبيعية أفضل وسيلة موفرة للطاقة للتهوية والتبريد.

٥. في المناطق شديدة الحرارة أو البرودة أو الرطوبة، قد تكون أنظمة HVAC ضرورية، لكنها قد تكون فعالة جداً إذا صُممت بعناية مع مراعاة الاستدامة.

٦. **الحفاظ على المياه** :تنفيذ تدابير لتوفير المياه مثل تجميع مياه الأمطار واستخدام تجهيزات سباكة موفرة.

الصحة والرفاه

١. **جودة الهواء الداخلي** :ضمان التهوية الجيدة ونوعية الهواء لتعزيز الصحة والرفاه.

٢. **تقليل الضوضاء** :الحد من التلوث الضوضائي لتهيئة بيئة مناسبة للتعلم.

٣. **تصميم مريح** :توفير مساحات مريحة ومتاحة للموظفين والمستخدمين.

٤. **التصميم الحيوي** :**(Biophilic)** استخدام الضوء الطبيعي، والنوافير المائية، والنباتات، أو النوافذ المطلة على مناظر طبيعية.

إشراك المجتمع

١. **التثقيف والتوعية** :تعزيز الوعي البيئي والممارسات المستدامة بين المستخدمين والمجتمع.

٢. **الشراكات** :التعاون مع المنظمات المحلية والمبادرات المجتمعية لمواجهة التحديات البيئية.

٣. **الوصول المجتمعي** :توعية المستخدمين بمفاهيم الاستدامة وتشجيع الممارسات البيئية السليمة.

كفاءة الموارد

١. **تقليل البصمة الكربونية للمجموعات** :دراسة ما إذا كانت المواد المطبوعة أو الرقمية هي الأكثر استدامة بحسب سياق المكتبة، وتنفيذ استراتيجيات التحويل الرقمي بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة.

٢. **الحفظ المستدام طويل الأجل** :اعتماد استراتيجيات مناسبة لضمان الوصول الدائم إلى المجموعات، مثل التخزين الفيزيائي المستدام باستخدام التنظيم الطبيعي للحرارة والرطوبة، أو الرقمنة بالتعاون مع مكتبات أو أرشيفات مشتركة.

٣. **تطوير المجموعات الخضراء** :اقتناء مواد مستدامة بيئياً، مثل المصادر ذات الوصول المفتوح أو المواد المعاد تدويرها.

٤. **الشراء المستدام** :إعطاء الأولوية للحصول على منتجات وخدمات صديقة للبيئة.

٥. **إدارة النفايات** :تنفيذ برامج فعالة لإدارة النفايات وتقليل ما يذهب إلى المكبات.

إمكانية الوصول والشمول

١. **التصميم الشامل** :ضمان إتاحة المكتبة لجميع المستخدمين، بمن فيهم ذوو الإعاقة.

٢. **برامج شاملة** :تقديم برامج وخدمات تلبي احتياجات واهتمامات متنوعة.

٣. **إتاحة المجموعات** :ضمان وصول أوسع الجمهور إلى المحتوى مجاناً، من خلال سياسات مثل الوصول المفتوح، والمصادر التعليمية المفتوحة(OER) ، وخدمات التوصيل للأشخاص ذوي القدرة المحدودة على التنقل.

تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الخضراء(ICT)

١. **تحسين توزيع الأجهزة** :إطالة دورة حياة الأجهزة مثل الحواسيب والشاشات والهواتف الذكية، واختيار الأجهزة حسب الحاجة دون مواصفات مفرطة، مع إعادة استخدام أو تدوير الأجهزة عند نهاية عمرها التشغيلي.

٢. **أجهزة موفرة للطاقة** :استخدام حواسيب وخوادم ومعدات شبكية فعالة في استهلاك الطاقة.

٣. **الخدمات السحابية** :الاعتماد على الحوسبة السحابية الإقليمية/المحلية لتقليل الحاجة للبنية التحتية المادية وتقليل النقل المستمر للبيانات.

٤. **مراكز بيانات مستدامة** :دعم مراكز البيانات التي تُعطي الأولوية للكفاءة الطاقية والاستدامة البيئية وتخدم المجتمعات المحلية باستخدام الحرارة الناتجة.

٥. **استخدام الذكاء الاصطناعي** :نظراً للطبيعة الكثيفة في استهلاك الموارد، يجب تخصيص استخدام الذكاء الاصطناعي للحالات التي لا يمكن تنفيذها بوسائل أخرى أو التي تتطلب حلولاً متقدمة بشكل خاص.

تصنيف جائزة الإفلا للمكتبات الخضراء

تُصنَّف جائزة الإفلا للمكتبات الخضراء ضمن فئتين رئيسيتين:

١. أفضل مكتبة خضراء أو مشروع واسع النطاق.
٢. أفضل مشروع مكتبة خضراء.

يُطلب من المتقدمين تحديد الفئة الأنســـب عند تقديم الطلب، غير أن لجنة الجائزة تحتفظ بحق اتخاذ القرار النهائي بشأن الفئة، وذلك استناداً إلى مراجعة شاملة لكافة الطلبات المستلمة.

عملية التقييم واختيار المرشحين

تقوم لجنة الجائزة باختيار قائمة طويلة من المشـــاريع المرشـــحة، والتي تُحال لاحقاً إلى لجنة مراجعـة دوليـة للتقييم المتقدم. ويشـــترط في الطلبـات أن تكون مكتملـة من حيـث البيـانـات والمعلومات الضـرورية لضـمان إمكانية تقييمها بشـكل دقيق. تحرص لجنة الجائزة على تحقيق التوازن في التمثيل بين المرشـــحين، من حيث التوزيع الجغرافي عبر مختلف القارات والدول، ومن حيث تنوع أنواع المكتبات والمشروعات المتقدمة. ويأتي هذا النهج انسجاماً مع السياسات العامة للإفلا. على سبيل المثال، يُوصى بعدم تقديم عدة مشاريع من نفس المدينة في السنة ذاتها، وبدلاً من ذلك يمكن توزيعها على سنوات مختلفة.

أهلية المشاركة وإعادة الترشح

لا يُسمح للفائزين أو للمرشحين النهائيين في الجائزة بالتقدم مرة أخرى في العام التالي مباشرةً لفوزهم. كما أن إعادة الترشح في السنوات اللاحقة تستلزم تقديم دليل على تنفيذ مبادرات جديدة وتحقيق نتائج محدثة.

متطلبات تقديم الطلب

ينبغي أن تحتوي جميع الطلبات (مع العلم أن هذه المتطلبات غير خاضعة للتقييم المباشر) على المعلومات التالية:

- اسم المكتبة، الدولة، ونوع المكتبة.
- الميزانية السنوية للمكتبة.
- الميزانية المخصصة للمشروع.
- متوسط عدد المستخدمين المتأثرين بالمشروع (تقديرياً).
- ملخص المشـروع والمادة الرئيسـية باللغة الإنجليزية، مع إمكانية إرفاق النص الكامل بإحدى اللغات الرسـمية للإفلا (مع التنبيه إلى أن التقييم سـيتم بالاعتماد على النسـخة الإنجليزية).

- نموذج التقييم الذاتي.
- إذن رسمي للنشر.
- عرض تقديمي مكوّن من شريحتين (يُطلب في حال تم اختيار المشروع ضمن القائمة المختصرة).
- صورة صحفية مع تصريح حقوق النشر.

فئات جائزة الإفلا للمكتبات الخضراء

تُمنح جائزة الإفلا للمكتبات الخضراء ضمن فئتين رئيسيتين، يتم التقييم فيهما وفقاً لمستوى التكامل البيئي والاستدامة، ومدى الأثر المجتمعي والابتكاري للمبادرات المقدمة:

الفئة الأولى: أفضل مكتبة خضراء / مشروع واسع النطاق

تُمنح هذه الجائزة للمكتبات التي تُجسد مفاهيم المكتبات الخضراء والمستدامة بشكل شمولي. وتشمل الأمثلة المؤهلة: المباني الجديدة المصممة وفق معايير الاستدامة، ومشروعات التجديد والتوسعة الشاملة، وتطوير مفاهيم خدمات مكتبية مستدامة تُنفذ على نطاق واسع أو طويل الأمد.

يشترط أن يعكس المشروع تطبيقاً متكاملاً للاستدامة البيئية يشمل المكتبة بأكملها أو عدة جوانب منها، كخفض البصمة الكربونية، وتقديم موارد وخدمات تراعي مبادئ البيئة الخضراء.

يجب أن يكون المشروع قد اكتمل أو شارف على الاكتمال خلال الاثني عشر شهراً السابقة للتقديم، مع توفر نتائج ملموسة أو قابلة للقياس. ولا يُعد حجم المكتبة أو ميزانيتها عاملاً محدداً للفوز، إذ يُركّز التقييم على مدى شمولية الممارسات البيئية ومدى التفاعل والمشاركة المجتمعية (مثل: إنشاء مبنى جديد للمكتبة يتضمن خدمات مبتكرة ومستدامة).

الفئة الثانية: أفضل مشروع مكتبة خضراء

تُخصص هذه الفئة للمشروعات البيئية والمستدامة ذات النطاق المحدود من حيث الوقت أو الميزانية، والتي تركز على جانب محدد أو أكثر من أنشطة المكتبة. ينبغي أن يُظهر المشروع أثراً بيئياً ملموساً، ولو على مستوى محلي، وأن يكون قد اكتمل خلال العام السابق أو ما يزال قيد التنفيذ مع نتائج قابلة للقياس.

كما أن ميزانية المشروع لا تُعد من معايير التقييم الأساسية، بل تُمنح الأولوية لمدى التأثير البيئي والإبداع في التنفيذ (مثل: برامج التوعية البيئية للأطفال، أو مبادرات طلابية للحد من النفايات داخل المكتبات الجامعية). وقد تمنح اللجنة تقديراً خاصاً للمشروعات ذات التأثير العالي رغم تنفيذها بإمكانات محدودة. وتُعد معايير الابتكار، والطابع المحلي، والتصميم البيئي الواعي من المعايير الداعمة في التقييم.

المعايير العامة للتقييم

عند مراجعة الطلبات، تأخذ لجنة التحكيم بعين الاعتبار مجموعة من المعايير النوعية التي يجب مراعاتها عند إعداد ملف الترشح:

١. جودة الطلب :يُقيّم الطلب من حيث مدى وضوحه، وشموليته، ودقته، واحتوائه على كافة المعلومات ذات الصلة، بما في ذلك العناصر السردية التي تعزز فهم المشروع وسياقه.

٢. نطاق الاستدامة :يُنظر إلى مدى شمول الطلب للأبعاد الثلاثة للاستدامة: البيئية، والاقتصادية، والاجتماعية. وينبغي أن يتضمن تقريراً موجزاً حول العمل المنجز ونتائجه، حتى وإن كانت محدودة، إضافةً إلى وصف لآلية دمج الاستدامة ضمن العمليات المكتبية، وهو ما يمكن تفصيله في نموذج التقييم الذاتي.

٣. أهمية وتأثير العمل البيئي :يُقيّم مدى أهمية المشروع وتأثيره على المستويين المحلي والوطني أو حتى العالمي، بالإضـــافة إلى جودة النتائج ومدى اســـتدامتها على المدى الطويل.

٤. الابتكار والتصميم الواعي :يُثمّن وجود عناصر جديدة أو مبتكرة في الحلول المقدمة سواء على المستوى المحلي أو الأوسع. كما يُنظر إلى مدى ملاءمة التصميم لمتطلبات البيئة والمجتمع، وفاعلية الحلول منخفضـــة التكلفة والمســـتندة إلى احتياجات محلية حقيقية.

٥. التواصـل والمشـاركة المجتمعية والتسـويق :تُقيّم فعالية المشـروع في إيصـال أهدافه ونتائجه إلى الجمهور العام، ومدى إشـراك المجتمع أو الفئات المسـتهدفة خلال مراحل التخطيط والتنفيذ، والتفاعل معهم بعد إنجاز المشروع (IFLA, 2023).

خاتمة الفصل

في ختام هذا الفصل، يتبيّن أن تبنّي المعايير العالمية للمباني الخضراء في تصميم وتشغيل مباني المكتبات يُعد خياراً استراتيجياً يدعم أهداف التنمية المستدامة ويعزّز الوظيفة المجتمعية للمكتبات؛ إذ تُسهم هذه المعايير في تقليل البصمة البيئية للمكتبات من خلال تحسين كفاءة استخدام الطاقة والمياه، وتوظيف مواد بناء مستدامة، بالإضافة إلى تحسين جودة البيئة الداخلية بما يضمن بيئة صحية وآمنة للموظفين والمستفيدين، كما تلعب المكتبات الخضراء دوراً فاعلاً في رفع الوعي البيئي داخل المجتمع، وتُقدِّم نموذجاً مؤسسياً يُحتذى به في تبنّي ممارسات الاستدامة، ويُسهم الالتزام بهذه المعايير في تعزيز الكفاءة التشغيلية للمكتبات، وخفض التكاليف طويلة الأجل، مما يعزّز موقعها كمؤسسات فاعلة في حماية البيئة ودعم تحقيق أجندة التنمية المستدامة. وبناءً عليه، يُعد الاستثمار في تطوير البنية التحتية للمكتبات وفقاً للمعايير البيئية العالمية ضرورة ملحّة تُمكّن المكتبات من مواكبة التوجّهات العالمية وضمان استمرارية دورها المعرفي والتنموي في المجتمعات المعاصرة.

يشـير تقرير "الحالة العالمية لقطاع البناء والتشـييد ٢٠٢٤/٢٠٢٥ "الصـادر عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) والتحالف العالمي للمباني والتشـييد(GlobalABC) ، إلى أن هذا القطاع يمثل أحد أكبر المسـاهمين في التغير المناخي، حيث يُنتج ما يقارب 37%من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة والعمليات الصناعية، ويستهلك حوالي 34%من إجمالي الطلب العالمي على الطاقة .(UNEP & GlobalABC, 2025)ورغم التوسـع العالمي في الاسـتثمارات في الأبنية منخفضـة الانبعاثات، والابتكارات في كفاءة الطاقة، إلا أن وتيرة التقدم لا تزال غير كافية لتحقيق مسـتهدفات اتفاق باريس للمناخ، خاصـة في مناطق الجنوب العالمي، ومنها الدول العربية.

وفي إطار الجهود الدولية المتسارعة لمعالجة البصمة الكربونية لقطاع البناء، شهد مؤتمر الأطراف COP28 في دبي عام ٢٠٢٣ إطلاق مبادرة "الاختراق في قطاع المباني " *(Buildings Breakthrough Agenda)*، كجزء من الأجندة الأوسع التي أُطلقت في مؤتمر COP26في جلاسكو عام ٢٠٢١، والتي تهدف إلى تسريع الانتقال إلى صافي الانبعاثات الصفري في القطاعات الاقتصادية الأعلى إنتاجاً للانبعاثات. وتُعد هذه المبادرة تطوراً نوعياً في الاعتراف بأهمية المباني – بما في ذلك المكتبات العامة – بوصفها أحد محاور التحول المناخي. وقد تبنّى تسعاً وعشرون بلداً، إلى جانب المفوضية الأوروبية، الهدف الرئيسي للمبادرة والمتمثل في أن تصبح "المباني منخفضة الانبعاثات والمقاومة للمناخ هي الوضع الطبيعي الجديد بحلول عام ٢٠٣٠". وقد أُطلق في مارس ٢٠٢٤ خلال المنتدى العالمي للمناخ والمباني في باريس حزمة من الإجراءات ذات الأولوية لتحقيق هذا الهدف، شملت ستة مجالات رئيسية: المعايير والشهادات، خلق الطلب، التمويل والاستثمار، البحث والنشر، بناء القدرات والمهارات، والتنسيق المؤسسي. وعلى الرغم من أن التقييم الأولي أشار إلى تقدم محدود أو متوسط فقط في تنفيذ هذه الإجراءات، إلا أن الملاحظات الإيجابية شملت اعتماد تعريفات موحدة لمفاهيم أساسية مثل "المبنى صفر الانبعاثات"، ما يُعد خطوة أساسية نحو التعاون الدولي الفعّال. ويؤكد هذا التوجه

العالمي أهمية توطين المبادرات في السياقات الإقليمية، خاصة في الدول العربية التي تتطلب أطراً تنظيمية وتشغيلية ملائمة تراعي الخصوصية المناخية والثقافية للمباني العامة، وعلى رأسها المكتبات(UNEP, & GlobalABC, 2024) .

واقع المباني الخضراء في العالم العربي ودور المكتبات

في إطار الجهود الإقليمية الرامية إلى مواءمة قطاع البناء في العالم العربي مع الالتزامات المناخية العالمية، تم تطوير خارطة الطريق الإقليمية لقطاع البناء والتشييد في المنطقة العربية (2020–2025)من قبل برنامج الأمم المتحدة للبيئة بالتعاون مع التحالف العالمي للمباني والتشييد، وبمشاركة مجموعة من الشركاء الإقليميين. تم وضع خارطة عمل تهدف إلى توجيه السياسات والبرامج الوطنية نحو مبانٍ مستدامة ومنخفضة الانبعاثات وأكثر قدرة على التكيف مع التغير المناخي، وذلك من خلال خمسة محاور استراتيجية تشمل: التخطيط الحضري، المباني الجديدة، المباني القائمة، مواد البناء، والمرونة المناخية. وقد شدد التقرير على أن التقدم في تنفيذ هذه الخارطة لا يزال بطيئاً في غالبية الدول العربية، إذ تواجه العديد منها تحديات تتعلق بغياب آليات التنفيذ، وضعف القدرات التقنية، ونقص البيانات اللازمة للرصد والتحليل. كما أبرزت الخارطة أهمية إشراك المباني العامة، وعلى رأسها المكتبات، في هذا التحول، سواء من حيث تبني التصاميم والممارسات المستدامة أو من خلال دورها المجتمعي في نشر المعرفة وتعزيز الثقافة البيئية .وتؤكد الوثيقة على ضرورة تعزيز التعاون الإقليمي وبناء القدرات المؤسسية وتبادل الخبرات بين الدول لضمان تحقيق الأهداف المناخية المنشودة ضمن السياقات الاجتماعية والاقتصادية للمنطقة.(UNEP, & GlobalABC, 2024)

وفي هذا السياق العالمي المتسارع نحو البنية التحتية المستدامة، تقف دول الشرق الأوسط والعالم العربي أمام تحديات وفرص متشابكة. فالمنطقة، بما تحويه من اقتصادات نفطية مرتفعة الدخل وأخرى نامية، تواجه ظروفاً مناخية قاسية، وتسارعاً حضرياً، ونماذج استهلاك مرتفعة للطاقة، في ظل غياب الأطر التشريعية المتكاملة. وعلى الرغم من تبني بعض الدول مثل

الإمارات والسعودية وقطر لمبادرات بارزة كـ"استدامة" و"كود البناء الأخضر السعودي"، إلا أن الغالبية العظمى من الدول العربية ما زالت تفتقر إلى سياسات إلزامية وفعالة للبناء المستدام، خاصة في المباني العامة والتعليمية مثل المكتبات.

نماذج لمكتبات عربية متوافقة مع معايير المكتبات الخضراء

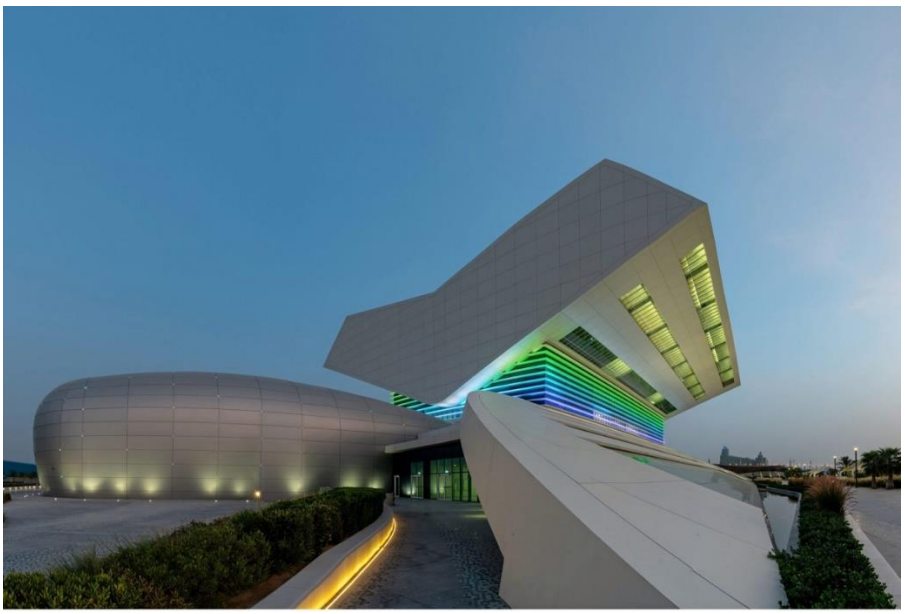
تُمثّل المبادرات العربية للتحول نحو المكتبات الخضراء أحد المحاور الرئيسة في جهود تعزيز الاستدامة البيئية والثقافية في العالم العربي، وتهدف هذه المبادرات إلى دمج مبادئ البناء المستدام والتقنيات البيئية الحديثة في تصميم وتشغيل المكتبات، بما يعكس وعياً متزايداً بالتحديات البيئية على المستويين المحلي والعالمي، وتستند هذه التوجهات إلى إدراك متنامٍ للدور الحيوي الذي تؤديه المكتبات كمؤسسات تعليمية وثقافية قادرة على دعم ممارسات الاستدامة، ليس فقط من خلال بنيتها التحتية، وإنما أيضاً من خلال تعزيز الثقافة البيئية بين روّادها.

تُظهر هذه المبادرات درجة عالية من التنسيق بين الجهات الحكومية، والمؤسسات الأكاديمية، والمجتمع المدني، بهدف إنشاء مكتبات صديقة للبيئة تعتمد على الكفاءة في استخدام الموارد، وتقلل من الانبعاثات الكربونية، مع تحسين جودة البيئة الداخلية للزوار والعاملين على حد سواء. كما تشمل هذه المبادرات برامج توعوية وتدريبية تهدف إلى نشر مفاهيم التنمية المستدامة، وإعداد جيل يمتلك وعياً بيئياً قادراً على المشاركة في بناء مستقبل أكثر استدامة.

يتناول هذا الفصل دراسة نماذج لمكتبات عربية تعد نموذجا في مجال التوجه نحو المكتبات الخضراء، وتطبيق معايير عالمية للمباني الخضراء، إضافة إلى أبرز التحديات التي تواجه المكتبات العربية في تطبيق معايير المباني الخضراء والممارسات الخضراء.

مكتبة محمد بن راشد العامة - دبي، الإمارات العربية المتحدة

تُعد مكتبة محمد بن راشد في دبي من أبرز المشاريع الثقافية والمعمارية في المنطقة، حيث تم تصميمها وفق أعلى معايير الاستدامة البيئية والهندسة الذكية. حصلت المكتبة على تصنيف LEED البلاتيني، وهو أعلى تصنيف عالمي للمباني الخضراء، بفضل تطبيقها لمجموعة شاملة من تقنيات كفاءة الطاقة وترشيد استهلاك المياه واعتماد مواد بناء صديقة للبيئة. تم تزويد المبنى بأنظمة متقدمة لإدارة الطاقة وجودة الهواء الداخلي، بالإضافة إلى استخدام الإضاءة الطبيعية بشكل واسع للحد من الاعتماد على الطاقة الكهربائية. كما تم دمج أنظمة ذكية للتحكم في التهوية والتبريد وفقاً لاحتياجات الاستخدام الفعلي للمساحات، مما يعزز من كفاءة التشغيل ويقلل الانبعاثات الكربونية. ويعكس التصميم المعماري للمكتبة التزاماً واضحاً بمبادئ الاستدامة من خلال التكامل بين الهندسة المعمارية الحديثة والحلول البيئية المتقدمة، لتكون المكتبة نموذجاً رائداً للمباني الثقافية المستدامة في المنطقة (AESG, 2025.)



الشكل (8) مكتبة محمد بن راشد العامة، https://www.middleeastarchitect.com/insight/mohammed-bin-rashid-library

تُمثل مكتبة محمد بن راشـد في دبي (الشـكل٨) معلماً ثقافياً متقدماً يجمع بين التعليم والثقافة والسياحة، وقد تم اختيار موقعها في منطقة حضـرية مكتظة لتشـجيع المشـي وتقليل الأثر البيئي لحركـة المرور، كمـا أنهـا تقع على بعد ٥٩٠ متراً فقط من محطـة مترو "كريـك"، مـا يعزز سـهولة الوصـول عبر وسـائل النقل المسـتدامة. يتكون المبنى من طابق سـفلي وأرضـي وسـبعة طوابق علوية، ويضـــم أنظمة تخزين آلية للكتب تُدار بالروبوتات ومرتبطة بنظام نقل ذكي، بالإضـــافة إلى مختبر رقمنة متطور ومجموعة من المكتبات المتخصـــصـــة وقاعات دراســية ومسرح حديث.

من الناحية البيئية، تم اختيار جميع مواد البناء والتشطيبات الداخلية وفق أعلى معايير الاستدامة، حيث حصـــلت المكتبة على شـــهادة LEED البلاتينية، وهي أول مكتبة في دبي تحقق هذا الإنجاز. تم تطبيق أحدث التقنيات لترشـيد اسـتهلاك الطاقة، مثل أنظمة إدارة مواقف السـيارات، والتهوية الذكية، والإضـاءة بتقنيةLED ، والزجاج الذكي، واسـتخدام الطاقة المتجددة من خلال نظام شمسي كهروضوئي بقدرة ١ ميغاواط موزع بين مظلات مواقف السيارات وسطح المبنى، ما يغطي نحو ١٠% من احتياجات المبنى الكهربائية. وقد أســـهمت هذه الإجراءات في تقليل اسـتهلاك الطاقة بنسـبة ٤٠% مقارنة بالمباني التقليدية، مع تحقيق وفورات سـنوية في اسـتهلاك الكهرباء تُقدر بـــــ ١,٦٠٠,٠٠٠ درهم إماراتي، وتجنب انبعاث حوالي ٦٥٨ طناً من الكربون سنوياً، أي ما يعادل زراعة ١٧,٠٠٠ شجرة أو تقليل استخدام أكثر من ٢,٥ مليون سيارة سنوياً (The Chicago Athenaeum: Museum of Architecture and Design, 2022).

كما تم دمج أنظمة متقدمة لترشيد استهلاك المياه، مثل أجهزة التدفّق المنخفض للمياه، واستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لري المساحات الخضراء، ما يعزز من كفاءة استخدام الموارد. صُـممت المكتبة وفق متطلبات نظام "السـعفات" للمباني الخضـراء في دبي، مع التركيز على الابتكار في التصـميم ودمج عناصـر الاسـتدامة في جميع مراحل الإنشـاء والتشـغيل، لتكون نموذجاً يُحتذى به في المباني الثقافية المستدامة على مستوى المنطقة.

مركز الملك عبدالعزيز الثقافي العالمي (إثراء) - المملكة العربية السعودية

يُعد مركز الملك عبد العزيز الثقافي العالمي (إثراء) مبادرة من شـــركة أرامكو الســـعودية تهدف إلى تعزيز التنمية الثقافية والمعرفية والتنوع في المملكة. افتُتح المركز عام ٢٠١٨، ويوفر لسكان المنطقة والزوار مجموعة واسعة من المرافق الثقافية والتعليمية المتاحة للجميع، تشمل مسرحاً يستضيف فعاليات متنوعة من الأوبرا والحفلات الموسيقية والمحاضرات، وسينما، ومكتبة تضم أكثر من ٣١٥,٠٠٠ كتاب باللغتين العربية والإنجليزية، وقاعة معارض كبرى، وأعمالاً فنية متكاملة لفنانين محليين ودوليين، بالإضـــافة إلى متحف وأرشـــيف يربطان بين الحياة الثقافية النابضة للمركز وجذور المجتمع وتاريخه (Snøhetta, 2018).

الشكل (9) مركز الملك عبدالعزيز الثقافي العالمي (إثراء)

https://www.aramco.com/ar/sustainability/society/economic-and-community-projects/ithra

ويُجســـد مركز الملك عبدالعزيز الثقافي العالمي (إثراء) (شـــكل ٩) نموذجاً رائداً في تطبيق معايير المباني الخضراء ضمن بيئة صحراوية قاسية، حيث حصل على شهادة LEED الذهبية

ويعتبر من أوائل المباني العامة في المملكة التي تحقق هذا التصنيف. تم تصميم المبنى من قبل شركة سنوهيتا النرويجية، ويتميز بتكوين معماري فريد يتألف من عدة كتل عضوية تمثل "الحصى" التي ترمز إلى الوحدة والتكامل بين التخصصات المختلفة. يعكس التصميم الزمني للمبنى مراحله المختلفة؛ إذ يغوص جزء منه في الأرض رمزاً للماضي، بينما يرتفع البرج والمكتبة نحو السماء لتمثيل المستقبل، مع وجود مساحات وسطية تمثل الحاضر (Arquitectura Viva, 2018).

من الناحية البيئية، اعتمد التصميم على استخدام مواد بناء مستدامة مثل الأنابيب الفولاذية المنحنية المقاومة للصدأ التي تغطي الواجهة، والتي تساهم في توفير الظل والتهوية الطبيعية، مما يقلل من الحاجة إلى التبريد الاصطناعي. كما استخدمت تقنية "التراب المدكوك" في الساحات الداخلية لتوفير عزل حراري وصوتي فعال باستخدام مواد طبيعية محلية، مما يعزز كفاءة الطاقة ويقلل الأثر البيئي.

تطبق أنظمة المبنى الذكية إدارة متقدمة للطاقة والمياه، حيث تم تحسين استهلاك الطاقة بنسبة ١٨% أقل من معايير LEED الأساسية، مع تقليل استهلاك المياه الصالحة للشرب بنسبة ٦٠% عبر استخدام تجهيزات موفرة ومراقبة دقيقة، بالإضافة إلى إعادة تدوير ٨٠% من النفايات الصلبة. كما تم تركيب أنظمة ري ذكية تعتمد على الظروف المناخية المحلية لتجنب الهدر.

يُظهر إثراء التزاماً مستمراً بالابتكار في التشغيل والصيانة لتحقيق أعلى مستويات الكفاءة البيئية، مما يجعله نموذجاً يحتذى به في المباني الثقافية المستدامة، ويعزز مكانة المملكة ضمن رؤية ٢٠٣٠ للبيئة والتنمية المستدامة.

مكتبة قطر الوطنية - قطر

تتبنى مكتبة قطر الوطنية نهجاً شاملاً لتعزيز الثقافة البيئية ونشر الوعي بقضايا الاستدامة من خلال مواردها وبرامجها المتنوعة، حيث توفر مجموعة واسعة من المصادر المطبوعة والإلكترونية حول موضوعات مثل تغير المناخ، الطاقة المتجددة، الزراعة المستدامة، الحفاظ على التنوع البيولوجي، إدارة النفايات وإعادة التدوير، النقل المستدام، والممارسات البنائية الصديقة للبيئة. وتنظم المكتبة فعاليات شهرية لجميع الفئات العمرية تشمل مناقشات جماعية، ندوات، ورش عمل، ومحاضرات توعوية حول قضايا البيئة والاستدامة، بالإضافة إلى عروض أفلام وثائقية وجلسات حوارية حول سبل تحقيق أهداف التنمية المستدامة في قطر.

أما على مستوى المبنى، فقد تم دمج العديد من معايير المباني الخضراء في التصميم والتشغيل، حيث يعتمد نظام إدارة المبنى على مراقبة وتحكم دقيقين في استهلاك الطاقة، ويشمل نظام الإضاءة برمجة تلقائية لتقليل الإضاءة خارج ساعات العمل، مما يرفع من كفاءة الطاقة. كما تم اعتماد صنابير مياه مزودة بحساسات لتقليل هدر المياه، إضافة إلى برنامج متكامل لإدارة النفايات يشمل إعادة تدوير الورق والزجاج والمعادن والمخلفات العضوية، بالإضافة إلى نظام خاص لإعادة تدوير النفايات الإلكترونية والكيميائية بالتعاون مع مؤسسة قطر. ويعتمد التصميم المعماري للمكتبة على الاستفادة القصوى من الإضاءة الطبيعية من خلال الواجهات الزجاجية، ما يقلل الحاجة للإضاءة الاصطناعية ويخفض استهلاك الطاقة، كما ينعكس إيجاباً على صحة وراحة المستخدمين من خلال تحسين المزاج وزيادة الإنتاجية وتقليل التوتر. بذلك، تبرز مكتبة قطر الوطنية كمثال رائد في التزام المؤسسات الثقافية بالاستدامة البيئية على مستوى الممارسات التشغيلية والتصميم المعماري والمحتوى التوعوي (Qatar National Library, 2023).

الشكل (10) مكتبة قطر الوطنية، مأخوذة من: https://www.qnl.qa/ar/about/news/rwh-altlm-walthqaft-tumaywiz-falyat-mktbt-qtr-alwtnyt-fy-mars

تُعد مكتبة قطر الوطنية (شكل ١٠)، التي صممتها شركة OMA بقيادة ريم كولهاس، نموذجاً معمارياً متقدماً يجمع بين الحداثة والوظيفة، حيث تمثل المكتبة مساحة مفتوحة واحدة ضخمة خالية من الأعمدة التقليدية، وتبلغ مساحتها ٤٢,٠٠٠ متر مربع، وتستوعب أكثر من مليون كتاب وآلاف القراء في وقت واحد. يقوم التصميم على فكرة رفع أطراف "لوح معماري" لتشكيل مصاطب تحتضن رفوف الكتب، ما يتيح وصولاً بصرياً ومادياً مباشراً لجميع المجموعات، ويعزز سهولة التنقل والتفاعل بين المستخدمين والمصادر.

تتميز الواجهة الزجاجية الممتوجة للمكتبة بقدرتها على ترشيح الضوء الطبيعي القوي في الدوحة، حيث تخلق إضاءة هادئة وموزعة داخل الفراغ، وتنعكس الإضاءة الطبيعية إلى عمق المبنى عبر سقف عاكس من الألمنيوم، ما يقلل الحاجة للإضاءة الاصطناعية ويحسن كفاءة استهلاك الطاقة. كما تم دمج رفوف الكتب في البنية المعمارية باستخدام نفس نوع الرخام الأبيض المستخدم في الأرضيات، وتحتوي هذه الرفوف على أنظمة إضاءة وتهوية مدمجة، بالإضافة إلى نظام آلي لإرجاع الكتب، ما يعزز التكامل بين البنية التحتية والتشغيل المستدام.

يضم التصميم أيضاً فناءً غائراً يوفر إضاءة طبيعية لمكاتب الموظفين في الطابق السفلي، ويعمل كمنطقة انتقالية قبل الدخول إلى فضاءات القراءة. وتحتل مجموعة التراث موقعاً مركزياً

في المكتبة ضـمن مسـاحة غائرة مغلفة بحجر الترافرتين الطبيعي، ما يوفر بيئة مناسـبة لحفظ المخطوطات والكتب النادرة. ويخدم الجسـر الرئيسـي، الخالي من الأعمدة، كمسـاحة متعددة الوظائف للقاءات والعروض والمعارض، مع إمكانية إعادة تشكيله بفضل الستائر المتحركة.

من خلال هذه الحلول المعمارية، تبرز مكتبة قطر الوطنية كمثال على دمج التصميم المبتكر مع مبادئ الاسـتدامة البيئية، حيث يحقق المبنى كفاءة عالية في اسـتغلال الضـوء الطبيعي، ويعزز جودة الهواء الداخلي، ويوفر بيئة تعليمية وثقافية مرنة ومستدامة (OMA, 2018).

بيت الحكمة - الشارقة، الإمارات العربية المتحدة

تم تصميم "بيت الحكمة" ليكون مركزاً ثقافياً متكاملاً يوفر بيئة متعددة الوسائل للتعلم، مع التركيز على الإنسـان والتفاعل والتجربة العملية، حيث يشـكل نقطة التقاء للثقافات والأفكار والاهتمامات من خلال مساحات مفتوحة وبرامج وفعاليات متنوعة تتيح فرصاً مستمرة للابتكار والإبداع والتعليم والترفيه. وتتمثل مهمة المركز في تدشين عصر جديد من التعلم، حيث تُكتسب المعرفة بسـهولة من خلال التفاعلات اليومية، ولا تقتصـر على الاسـتهلاك السـلبي للمعلومات، بل تشـمل أيضـاً إنتاج المعرفة عبر المشـاركة المجتمعية. وقد أُنشـئ "بيت الحكمة" بمبادرة من صاحب السمو الشيخ الدكتور سلطان بن محمد القاسمي، عضو المجلس الأعلى لدولة الإمارات العربية المتحدة، حاكم إمارة الشـارقة، احتفاءً باختيار الشـارقة عاصـمة عالمية للكتاب لعام ٢٠١٩ من قبل اليونسكو، وصـممته شـركة "فوسـتر وشـركاه" المعمارية الحائزة على جوائز، على مساحة ١٢،٠٠٠ متر مربع، ليجمع بين الحداثة والاستدامة من خلال مبنى عصري تحيط به حدائق ومسـاحات خارجية للأنشـطة، ويعتمد على الإضـاءة الطبيعية والتكامل مع البيئة، مع مراعاة أن تكون جميع المساحات عملية ومرنة لتلبية احتياجات المجتمع المتجددة (House of Wisdom, 2023).

الشكل (11) بيت الحكمة، https://www.uaebarq.ae/ar/2021/02/17/بيت-الحكمة-مكتبات-المستقبل-تنطلق-من-ا/

يقع "بيت الحكمة" (شكل ١١) على طريق مطار الشارقة الدولي، ويتميز بتصميم معماري مستدام يراعي معايير المباني الخضراء من خلال دمج الحلول البيئية التي تعزز كفاءة استخدام الطاقة والموارد الطبيعية. يتكون المبنى من طابقين مع سقف بارز بعرض ١٥ متراً يوفر ظلاً فعالاً لواجهاته، مما يقلل من الحاجة إلى التبريد الصناعي عن طريق تقليل تعرض المبنى لأشعة الشمس المباشرة. كما تستخدم الشاشات الثابتة المصنوعة من الألمنيوم بكثافات مختلفة لتصفية أشعة الشمس المنخفضة في المساء، بينما تسمح الشاشات المتحركة المصنوعة من الخيزران بالتحكم في الخصوصية وتقليل الوهج مع الحفاظ على التهوية الطبيعية والإضاءة النهارية، مما يقلل من استهلاك الطاقة.

يستقبل المبنى الزوار من جهة الغرب عبر بهو استقبال مزدوج الارتفاع يحتوي على فناء مركزي مزود بمساحات خضراء كثيفة تساهم في تحسين جودة الهواء وتنظيم درجة الحرارة المحيطة، بالإضافة إلى توفير بيئة مريحة للأنشطة الاجتماعية والتأمل. استُلهم التصميم المعماري من العمارة التقليدية المحلية، خاصة عمارة "البرستي" (Barasti)، حيث يتخذ المبنى شكلاً مربعاً بسيطاً يتمحور حول فناء مركزي كثيف الزراعة ومظلل، يسمح بدخول

الضـوء الطبيعي والتهوية إلى أعماق المبنى ويوفر بيئة مريحة على مدار العام (Landscape Middle East, 2021). وقد تم تصميم المساحات الداخلية لاستغلال الإضاءة الطبيعية بشكل أمثل، مع اسـتخدام مواد مسـتدامة وتقنيات حديثة مثل آلة طباعة الكتب عند الطلب لتقليل الهدر، ويعتمد الســقف العائم على نوى رئيســية تتيح توزيعاً فعالاً للخدمات دون الحاجة إلى أعمدة داعمة، مما يزيد من مرونة استخدام المساحات ويقلل من استخدام المواد الإنشائية.

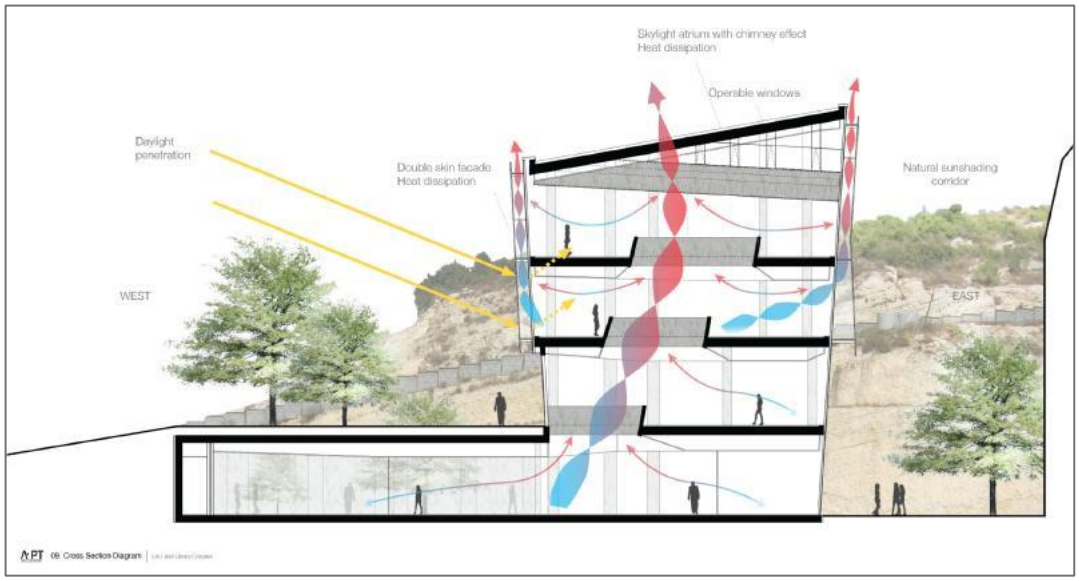
تتضمن المساحات الخارجية "حديقة المعرفة" وملعباً للأطفال مزروعة بأنواع نباتية محلية مقاومة للجفاف، مما يقلل الحاجة إلى الري ويعزز التنوع البيولوجي المحلي. كما تضـم الحديقة الرسـمية عملاً فنياً يعكس التراث الثقافي بطريقة مسـتدامة. بشـكل عام، يعكس تصـميم "بيت الحكمة" التزاماً واضحاً بمبادئ الاستدامة البيئية من خلال تحسين كفاءة الطاقة، تعزيز التهوية والإضاءة الطبيعية، استخدام المواد المحلية والمستدامة، والحفاظ على التناغم بين المبنى والبيئة المحيطة.

مكتبة جوزيف ج. جبرا(**JGJL**) - لبنان

مكتبة جوزيف ج. جبرا (JGJL) منشأة حديثة تُقدم مجموعة متنوعة من الخدمات لدعم التعليم والتعلم والبحث. أُغلقت المكتبة القديمة في ٥ نوفمبر ٢٠١٨، وافتتحت المكتبة الجديدة أبوابها لأول مرة في ٦ نوفمبر ٢٠١٨. يضم المبنى المكون من خمسة طوابق مساحات دراسية مفتوحة، وغرف دراســة جماعية، وقاعات متعددة الأغراض، وقاعة اجتماعات، وصــالات جلوس متنوعة، والعديد من المرافق غير التقليدية الأخرى التي تُوفر جواً مُلهماً مُلائماً للتعلم.

بحث مصممو ها في تاريخ مدينة جبيل القديمة وثقافتها المحلية وخصائصها، ودمجوا النتائج في التصــميم المفاهيمي. يعتمد النمط الموجود على واجهة المكتبة على الأبجدية الفينيقية القديمة، مما يُبرز التراث الثقافي الأصـيل لمدينة جبيل. حصـلت مكتبة جوزيف ج. جبرا على شـهادة LEEDالذهبية من USGBC، وتتميز بنظام تجميع مياه الأمطار وإعادة اســتخدامها. لمزيد

من التفـاصـــيـل، يُرجى زيـارة إدارة المرافق. (Lebanese American University Libraries, 2025).



الشكل (12) مكتبة جوزيف ج. جبرا، https://uni.xyz/journal/closer-look-at-j-g-jabbra-library-and-r

تمحورت المســـاحات الداخلية للمكتبة حول ردهة مركزية فســـيحة، تعمل كنقطة محورية للضـوء الطبيعي ودوران الهواء، ما يعزز من جودة البيئة الداخلية. كما صُممت هذه المساحات بما يتيح تدفقاً ســلســـاً بين الداخل والخارج، ما يخلق إحســـاســـاً بالترابط المتكامل بين الطبيعة والبناء. إضـــافة إلى ذلك، أســـهمت المكتبة والمســـاحات المرافقة لها في تعزيز التفاعل بين الأنشـطة الأكاديمية والاجتماعية، من خلال توفير بيئة شـاملة تدعم التعلم، والتواصـل، والتبادل الثقافي، وتتيح للطلبة ممارسة أنشطة متنوعة ضمن مساحة واحدة مرنة ومفتوحة، أنظر الشكل (١٢).

تتميّز المســـاحات الخارجية المحيطة بالمجمع بكونها نفّاذة وخضـــراء، وتشـــمل حديقة غائرة مزروعة بأشـجار وشـجيرات محلية، يمكن الوصـول إليها من الطابق السـفلي للمكتبة. كما تم

تعزيز المناظر الطبيعية المجاورة بأنواع نباتية محلية لتعزيز الانســـجام البيئي والاســـتدامة البيولوجية.

وفيما يتعلق بممارسات البناء المستدام والتصميم المناخي المرن، اعتمدت شركة A*PT نهجاً منخفض التقنية، مستنداً إلى دراسة دقيقة للنسيج المناخي والثقافي للمنطقة. يهدف هذا النهج إلى تحقيق الراحة البيئية للمستخدمين بأقل استهلاك للطاقة، مع الحفاظ على مرونة المباني وقدرتها على التكيّف. من أبرز الاستراتيجيات التصميمية المعتمدة:

- استخدام واجهات مزدوجة توفر التظليل والتهوية الطبيعية.
- توجيه الواجهات لالتقاط الضوء الطبيعي المنتشر.
- توفير إطلالات مباشـرة على المناظر الطبيعية المحيطة، ما يعزز التواصـل البصـري بين الداخل والخارج.
- الاستفادة من تأثير "المدخنة الحرارية" في الردهة المركزية لتعزيز التهوية الطبيعية.
- فصل المباني عن الصخور الرسوبية لتمكين دوران نسيم البحر، مما يهوّي المساحات الخارجية مثل مناطق الدراسة والمقهى والمدرج، ويوفر مشاهد بصرية فريدة لصخور المنطقة من داخل المباني.
- إنشـــاء حديقة غائرة تعمل على إدخال الضـــوء الطبيعي إلى الطابق الســـفلي وتبريد المساحات المجاورة، بالإضافة إلى توفير منطقة خارجية هادئة للدراسة.

أما من ناحية الحفاظ على التنوع البيولوجي، فقد ساهم إبقاء الصخور الرسوبية مكشوفة في دعم بعض أشـكال الحياة الطبيعية الخاصـة بالمنطقة. كما أن زراعة النباتات المحلية والأصـلية في المسـاحات الخضـراء عززت من جذب الحشـرات والكائنات الحيوانية المحلية، ما يرسّـخ دور المشروع في دعم النظم البيئية المحلية (Atelier Pagnamenta Torriani et al., 2024) .

التحديات التي تواجه المكتبات العربية في تطبيق معايير المباني الخضراء والممارسات الخضراء

تعد المكتبات من المؤسسات الحيوية التي تلعب دوراً محورياً في نشر المعرفة والثقافة وتعزيز التنمية المستدامة في المجتمعات، ومع تزايد الاهتمام العالمي بقضايا البيئة والاستدامة، برزت الحاجة إلى تطوير المباني والمنشآت العامة، بما فيها المكتبات، وفق معايير المباني الخضراء التي تهدف إلى تقليل الأثر البيئي، وتحسين كفاءة استهلاك الموارد، وخلق بيئة صحية وآمنة للمستخدمين. وفي هذا السياق، تسعى المكتبات العربية إلى مواكبة هذه التوجهات الحديثة من خلال تبني استراتيجيات وتقنيات البناء المستدام، إلا أن تطبيق هذه المعايير يواجه جملة من التحديات التي تتعلق بالجوانب الاقتصادية والتقنية والإدارية والثقافية. وتكتسب دراسة هذه التحديات أهمية خاصة في ظل التحولات التي يشهدها العالم العربي على صعيد التنمية العمرانية والوعي البيئي، مما يستدعي بحثاً معمقاً في العقبات التي تعترض مسار المكتبات نحو تحقيق الاستدامة البيئية، واقتراح الحلول المناسبة لتجاوزها بما يعزز دور المكتبات كمؤسسات رائدة في خدمة المجتمع والبيئة. تواجه أغلب المكتبات العربية، تحديات كبيرة في تطبيق معايير المباني الخضراء بسبب مشكلات في تصميم المباني، إدارة الموارد، الموقع، نقص الخطط والدعم الحكومي، وضعف الوعي والتكلفة المالية العالية لعمليات التحول والتأهيل (شتا، ٢٠٢٢).

- **التحديات المناخية والطاقة**

تواجه الدول العربية، ولا سيما الخليجية منها، ظروفاً مناخية شديدة الحرارة تدفع إلى الاعتماد الكبير على أنظمة التبريد، مما يرفع من استهلاك الطاقة في المباني العامة، ومنها المكتبات. ونظراً لما تتميز به المكتبات من مساحات كبيرة ووظائف متعددة، فإنها تُعد من المنشآت كثيفة الاستهلاك للطاقة في حال عدم تصميمها أو إعادة تأهيلها بطريقة مستدامة، الأمر الذي يُفاقم من البصمة الكربونية للمؤسسات الثقافية (UNEP & GlobalABC, 2024).

- **غياب التصميم الأصلي الملائم**

تواجه المكتبات العربية تحديات عديدة في تطبيق معايير المباني الخضـــراء والممارســـات المســتدامة، ويُعد غياب التصــميم الأصــلي المناســب من أبرز هذه التحديات؛ فغالباً ما تشــغل المكتبات مبانٍ قديمة أو لم تُصــمَّم أســاســاً وفق معايير الاســتدامة، وتركيز الجهود غالباً على تطوير الخدمات التقليدية دون الالتفات الكافي للجوانب البيئية والمعمارية المســتدامة (شــباحي وصابور، ٢٠٢٠)، مما يعيق دمج أنظمة التهوية الطبيعية، والإضاءة الفعالة، واستخدام مصادر الطاقة المتجددة بكفاءة. كما أن الاعتبارات البيئية غالباً ما تُهمَل في مراحل التخطيط الأولى لتشــييد المكتبات، فتُدرج كملاحق لاحقة لا كمكونات أســاســية في التصــميم المعماري. هذا بالإضافة إلى قلة الكوادر المحلية المتخصصة في تصميم المباني المستدامة، وافتقار المؤسسات إلى السـياسـات البيئية الواضـحة، مما يؤدي إلى حلول سـطحية لا تحقق الأثر البيئي المطلوب. كما أن تعديل المباني القائمة لتتلاءم مع المعايير الخضـــراء غالباً ما يكون مكلفاً ومعقداً من الناحية التقنية. إن تجاوز هذا التحدي يتطلب تبني نهج شـامل يبدأ من مراحل التصـميم الأولية، وتوفير التدريب المهني المناسب، إلى جانب رفع الوعي المؤسـسـي بأهمية التصـميم البيئي في بيئة المكتبات. إن معظم مباني المكتبات العامة لم تُصمم أساساً كمكتبات، ما يجعل تكييفها لتلبية معايير المباني الخضراء أمراً صعباً ومكلفاً (شتا، ٢٠٢٢).

- **ضعف الكفاءة والخبرة**

تُعدّ ضـــعف الكفاءة والخبرة من التحديات الجوهرية التي تعيق تطبيق معايير المباني الخضـراء في المكتبات العربية، فغالباً ما تفتقر فرق العمل الهندسـية والإدارية في المؤسـسـات المكتبية إلى المعرفة الكافية بمفاهيم الاستدامة البيئية، سواء في مجال تصميم المباني أو تشغيلها وفق ممارسـات خضـراء، ويؤدي هذا الضـعف إلى اتخاذ قرارات غير مبنية على أسـس علمية عند التخطيط للمشـــروعات الجديدة أو عند محاولة تكييف المباني القائمة، كما يحد من قدرة المكتبات على اختيار المواد المستدامة، أو اعتماد أنظمة إدارة الطاقة والمياه بفعالية. كما أن قلة

البرامج التدريبية المتخصصة، وندرة الشراكات مع الجهات الخبيرة في التصميم المستدام، يُفاقمان من هذا التحدي، ويجعلان التحول نحو الممارسات البيئية في المكتبات يسير ببطء وتردد، ويشير (شباحي وصابور، ٢٠٢٠) إلى أن قلة الوعي لدى المتخصصين وغير المتخصصين بأهمية التوجهات البيئية في المكتبات يعتبر تحدٍ بارز ويعيق التوجه الأخضر، لذا فإن تعزيز الكفاءة والخبرة في هذا المجال يُعد خطوة أساسية لضمان نجاح مبادرات الاستدامة في القطاع المكتبي العربي. ويعتبر عدم توافر العمالة ذات الخبرة في المباني الخضراء من التحديات التي يجب الوقوف عليها والعمل على إيجاد حلول لها، علاوة على ذلك، فإن أصحاب المصلحة واضحون أيضاً أن مواد البناء الخضراء لا تُستخدم بسهولة لأن العملاء وكذلك صناعة البناء بشكل عام بحاجة إلى التكيف مع هذه الاتجاهات المتغيرة (Alshamsi et al., 2022)، وتذكر نتائج دراسة شتا (2022) أن غياب الخبرة والوعي يعكس صعوبة في إدارة الموارد وتدويرها واستخدام مواد صديقة للبيئة.

- **موقع المكتبة وعلاقته بالبيئة المحيطة**

يُعد موقع المكتبة وعلاقته بالبيئة المحيطة عاملاً مهماً في مدى نجاح تطبيق مبادئ المباني الخضراء والممارسات المستدامة. فاختيار موقع المكتبة لا يؤثر فقط على سهولة الوصول إليها، بل يمتد تأثيره ليشمل كفاءة استخدام الموارد، والانسجام مع الظروف المناخية، وتقليل الأثر البيئي. فعلى سبيل المثال، قد يؤدي بناء مكتبة في منطقة مكتظة مرورياً أو بعيدة عن وسائل النقل العام إلى زيادة الاعتماد على السيارات الخاصة، مما يسهم في رفع الانبعاثات الكربونية. كما أن عدم مراعاة اتجاهات الشمس والرياح في تصميم موقع المبنى قد يؤدي إلى استخدام مفرط للطاقة من أجل التبريد أو الإضاءة.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن للموقع أن يدعم أو يعيق استخدام حلول طبيعية مثل الإضاءة والتهوية، أو أن يُسهم في إدارة مياه الأمطار واستغلال المساحات الخضراء. وغالباً ما تُنشأ المكتبات في مواقع غير مدروسة بيئياً، دون تحليل شامل للبيئة المحيطة ومواردها، مما يُفقد التصميم فرصاً

ثمينة لتطبيق استراتيجيات خضراء فعالة. ومن هنا، تبرز أهمية دمج معايير التخطيط العمراني المستدام في مراحل اختيار مواقع المكتبات، لضمان توافقها مع البيئة الطبيعية، وتعزيز أدائها البيئي والوظيفي على المدى الطويل. وهذا ما أكدته دراسة شتا (2020) أن جاء محور الموقع في مرتبة متأخرة (٥٥,٣٣%)، ما يشير إلى أن كثيراً من المكتبات تقع في أماكن لا تدعم سهولة الوصول أو توفر بيئة خارجية خضراء كافية.

- **نقص المساحات الخضراء**

يُشكّل نقص المساحات الخضراء في محيط المكتبات العربية تحدياً كبيراً أمام تطبيق مبادئ المباني الخضراء والممارسات البيئية المستدامة. فالمساحات الخضراء تلعب دوراً هاماً في تحسين جودة الهواء، وخفض درجات الحرارة المحيطة، وتقليل تأثير الجزر الحرارية الحضرية، إضافة إلى توفير بيئة مريحة ومحفزة للزوار. وعندما تفتقر المكتبات إلى حدائق أو مناطق خضراء حولها، تزداد الحاجة إلى أنظمة تبريد صناعية واستهلاك الطاقة، مما يرفع من البصمة الكربونية للمبنى.

كما أن غياب هذه المساحات يقلل من فرص استخدام الحلول الطبيعية في إدارة مياه الأمطار، ويحد من إمكانية دمج التنوع البيولوجي في تصميم الموقع. بالإضافة إلى ذلك، يؤثر نقص المساحات الخضراء على تجربة المستخدم، حيث يُعتبر وجود النباتات والمساحات المفتوحة جزءاً من البيئة التعليمية والثقافية التي تعزز من راحة واستمرارية التردد على المكتبة. ولذلك، يجب على المخططين والمصممين إعطاء الأولوية لإنشاء وتطوير المساحات الخضراء المحيطة بالمكتبات كجزء أساسي من استراتيجية الاستدامة البيئية. وبالتالي، هناك ضرورة لتأمين وتوسيع المساحات الخضراء حول مباني المكتبات، ما يدل على أن الوضع الحالي لا يلبي هذا الشرط الأساسي للمباني الخضراء (شتا، ٢٠٢٢).

- **عدم وجود خطط استراتيجية واضحة**

يُعتبر عدم وجود خطط استراتيجية واضحة من أبرز التحديات التي تواجه المكتبات العربية في تبني معايير المباني الخضراء والممارسات البيئية المستدامة؛ فغياب رؤية شاملة ومحددة لاستدامة المباني يؤدي إلى تنفيذ جهود متفرقة وغير منسقة، مما يقلل من فعاليتها وتأثيرها البيئي. بدون خطة استراتيجية واضحة، يصعب تحديد الأولويات، وتخصيص الموارد، ووضع معايير تقييم الأداء البيئي للمكتبات، كما يتسبب ذلك في عدم وجود التزام مؤسسي قوي تجاه المبادرات الخضراء.

علاوة على ذلك، يؤدي نقص التخطيط الاستراتيجي إلى ضعف التنسيق بين الجهات المعنية، سواء كانت إدارية أو هندسية أو مجتمعية، مما يعيق إدماج ممارسات البناء الأخضر في العمليات اليومية للمكتبة، ومن ثم، يصبح التقدم نحو الاستدامة محدوداً وبطيئاً، مع تكرار الأخطاء وعدم استغلال الفرص المتاحة لتحسين كفاءة المبنى وتقليل الأثر البيئي، كما أن غياب السياسات أو التشريعات المحلية التي تلزم المكتبات بتطبيق معايير المباني الخضراء ستعيق من التقدم في هذا التوجه (شباحي وصابور، ٢٠٢٠). لذلك، من الضروري وضع خطط استراتيجية واضحة تتضمن أهدافاً محددة، وآليات تنفيذ، ومؤشرات قياس الأداء لضمان نجاح تطبيق المباني الخضراء في المكتبات العربية. هناك حاجة لوضع خطط استراتيجية لتأهيل مباني المكتبات لاستيعاب التطورات الحديثة في الاستدامة البيئية (شتا، ٢٠٢٢)، كما أن هناك حاجة إلى جهد منسق بين صانعي السياسات وأصحاب المصلحة في الصناعة والمؤسسات المالية لمواجهة التحديات وإطلاق العنان لإمكانات قطاع المباني الخضراء؛ من خلال الاستفادة من الابتكار ومواءمة اللوائح وتعزيز التعاون (UNEP & GlobalABC, 2025).

- **السياسات العامة والدعم المؤسسي**

رغم تنامي الوعي البيئي، فإن المكتبات لا تزال مغفلة في الخطط الوطنية للتغير المناخي والبناء المستدام في معظم الدول العربية. يشير تقرير UNEP (٢٠٢٤) إلى أن المباني

الحكومية تُمثل مدخلاً غير مستغل لتحسين كفاءة الطاقة. ويعدُّ ضعف الدعم المؤسسي من التحديات الكبيرة التي تعيق تطبيق معايير المباني الخضراء والممارسات البيئية المستدامة في المكتبات العربية. عندما تفتقر المؤسسات إلى التزام واضح وفاعل من الإدارة العليا، يصبح من الصعب توفير الموارد المالية والبشرية اللازمة لتنفيذ مشاريع الاستدامة بنجاح. كما يؤدي ضعف الدعم المؤسسي إلى غياب السياسات والاستراتيجيات التي تشجع على تبني مبادرات البناء الأخضر، مما يجعل جهود الاستدامة غير مستمرة أو مبعثرة.

بالإضافة إلى ذلك، يؤثر ضعف الدعم على تحفيز الكوادر والعاملين داخل المكتبات، ويحد من مشاركتهم الفعالة في تحسين الأداء البيئي للمبنى. كذلك، تقل فرص التعاون مع جهات خارجية متخصصة أو الشراكات التي قد تسهم في تعزيز الاستدامة. لذلك، فإن تعزيز الدعم المؤسسي عبر تبني رؤىً واستراتيجيات واضحة، وتوفير ميزانيات مخصصة، وتدريب الكوادر، يُعدّ أمراً أساسياً لضمان نجاح تطبيق المعايير الخضراء في المكتبات العربية وتحقيق بيئة مكتبية مستدامة وصديقة للبيئة. ومن أهم العوائق المتعلقة بالمؤسسات الأم؛ تأخير التصاريح والموافقات، ونقص القيادة والتنسيق كانت من أبرز العوائق (Elnaklah et al., 2025)، كما أن عدم وجود سياسات ولوائح تدعم انتشار المباني الخضراء، ووضع استراتيجية واضحة لتعزيز المباني الخضراء، وغياب وجود حوافز لاعتماد اللوائح في مشاريع البناء سببا في تأخر تطبيق معايير البناء الأخضر (Alshamsi et al., 2022)، وقد أوصت دراسة (شتا، ٢٠٢٢) بضرورة تبني الحكومة لأفكار تحفيزية مثل الجوائز والمكافآت للمكتبات الخضراء، ما يعكس نقص المبادرات الحكومية الحالية في هذا المجال. ولتفعيل دور المكتبات، ينبغي اتخاذ خطوات عملية تشمل:

- إدراج المكتبات صراحة في استراتيجيات التحول المناخي والتشريعات العمرانية.
- تخصيص تمويل ودعم تقني لتأهيل المباني القائمة وإنشاء مبانٍ جديدة وفق معايير خضراء.

- الاستفادة من التمويل الدولي، مثل صندوق المناخ الأخضر، ومبادرات الأمم المتحدة، لبناء القدرات وتطوير البنية التحتية.

- **تحديات في تلبية احتياجات ذوي الاحتياجات الخاصة**

تواجه المكتبات العربية تحديات كبيرة في تلبية احتياجات ذوي الاحتياجات الخاصة ضمن سياق تطبيق معايير المباني الخضراء والممارسات المستدامة. فغالباً ما تركز التصاميم المعمارية التقليدية على الجوانب البيئية أو الجمالية دون دمج شامل لمتطلبات الوصول والتيسير لهذه الفئة المهمة من المستخدمين. هذا النقص في التخطيط الشامل يؤدي إلى عدم توفير مساحات وأدوات مناسبة تسهل حركتهم داخل المكتبة أو استخدامهم للخدمات المختلفة، مثل المداخل المهيأة، المصاعد، المسارات الخالية من العوائق، وأجهزة القراءة المساعدة.

علاوة على ذلك، قد تتعارض بعض حلول المباني الخضراء، مثل تصميم النوافذ الكبيرة أو استخدام مواد معينة، مع متطلبات الأمان والراحة لذوي الاحتياجات الخاصة إذا لم يتم التخطيط لها بعناية. لذلك، يحتاج تصميم المباني الخضراء المستدامة في المكتبات إلى اعتماد نهج متكامل يجمع بين الاستدامة البيئية والتصميم الشامل الذي يضمن تلبية احتياجات جميع المستخدمين بغض النظر عن قدراتهم، مما يعزز من الشمولية ويوفر بيئة مكتبية متاحة للجميع. فهناك نقص في تكييف المباني والخدمات لتكون ملائمة للجميع، وهو جزء من معايير المباني المستدامة (شتا، ٢٠٢٢)

- **محدودية الوعي البيئي والتقني**

تُشكّل محدودية الوعي البيئي والتقني تحدياً كبيراً أمام تطبيق معايير المباني الخضراء في المكتبات العربية؛ فعدم فهم أهمية الاستدامة البيئية وتأثيرها الإيجابي على المباني والبيئة المحيطة يؤدي إلى قلة المبادرات الجادة في هذا المجال، كما أن ضعف المعرفة التقنية المتعلقة بالتقنيات والممارسات الخضراء، مثل أنظمة توفير الطاقة، واستخدام المواد الصديقة للبيئة،

وإدارة المياه، يجعل من الصـــعب على القائمين على تخطيط وتشـــغيل المكتبات اتخاذ قرارات مستنيرة وفعالة، إضـافة إلى وجود نقص في الاهتمام وعدم وعي كافٍ بتوجهات المكتبات نحو البيئة الخضـــراء والتنمية المســـتدامة ســـواء لدى المتخصـــصـــين في علم المكتبات أو غير المتخصصين، ويظهر ذلك في قلة الدراسات والأبحاث التي تتناول هذا الموضوع بشكل معمق (شـباحي وصـابور، ٢٠٢٠)، كما تشـير (شـتا، ٢٠٢٢) إلى وجود ضـعف الوعي لدى بعض العاملين أو متخذي القرار بأهمية التحول نحو الاستدامة البيئية وتبني معايير المباني الخضراء. ويعتبر عدم دمج مفاهيم المباني الخضـــراء في المناهج الجامعية عائق رئيســـي في محدودية الوعي بهذا الاتجاه، مما يشـير إلى وجود فجوة في التدريب الرسـمي ونشـر المعرفة اللازمين لدعم التحول إلى ممارسات البناء المستدامة (Elnaklah et al., 2025).

إلى جانب ذلك، يسـاهم نقص البرامج التدريبية وورش العمل التوعوية في اسـتمرار هذا النقص في الوعي، مما يعوق تطوير مهارات الكوادر الفنية والإدارية في مجال البناء المسـتدام، ولهذا، فإن تعزيز الوعي البيئي والتقني عبر حملات توعية مسـتمرة وبرامج تدريب متخصـصـة يُعدّ أمراً ضـرورياً لتمكين المكتبات العربية من تبني ممارسـات البناء الأخضـر وتحقيق الاسـتدامة الفعلية في بنيتها التحتية وعملياتها التشغيلية.

- **تكلفة التحول والتأهيل**

غالباً ما تتطلب عمليات تحديث المباني القائمة أو تصـميم مبانٍ جديدة بخصـائص صـديقة للبيئة استثمارات مالية كبيرة تشمل استخدام مواد بناء مستدامة، وتركيب أنظمة طاقة متجددة، وتحســـين العزل الحراري، وتنفيذ تقنيات متقدمة لإدارة المياه والطاقة. هذه التكاليف قد تكون عبئاً ثقيلاً على ميزانيات المكتبات، خصـــوصـــاً في ظل محدودية الدعم المالي وغياب خطط تمويل واضحة.

علاوة على ذلك، قد تمتد فترة اســـترداد هذه التكاليف لفترات طويلة، مما يثني الجهات الإدارية عن اتخاذ خطوات جذرية نحو التحول الأخضـــر. كما أن نقص الخبرة الفنية في تنفيذ مشـــاريع

التأهيل المستدام يزيد من احتمالية حدوث تجاوزات في الميزانية أو تأخيرات في التنفيذ. لذلك، من الضروري اعتماد استراتيجيات تمويل مبتكرة، وتوفير حوافز حكومية أو دعم مؤسسي، بالإضافة إلى التخطيط المالي السليم لضمان جدوى وكفاءة مشاريع التحول والتأهيل البيئي في المكتبات. وعلى الرغم من إحراز تقدم، بما في ذلك زيادات متواضعة في قوة أداء الطاقة لقوانين البناء، ونمو استخدام الطاقة المتجددة وتخزينها في المباني، والاعتماد المتزايد لشهادات البناء المستدام، إلا أن تحديات مثل ارتفاع التكاليف، ونقص سياسات مفصلة لإزالة الكربون من المباني، والزيادة المحدودة في اعتماد وتغطية قوانين البناء، ونقص الاستثمار والتمويل، لا تزال تُعيق التحول الكامل للقطاع (UNEP & GlobalABC, 2025)، إضافة إلى أن تحديث المباني القائمة أو بناء أخرى جديدة وفق معايير LEED يتطلب استثمارات مالية كبيرة، وهو تحدٍ أمام الكثير من المكتبات (شتا، ٢٠٢٢)، كما أن نقص التدقيق المالي والبيئي للموارد المحلية المستدامة؛ وارتفاع التكاليف الأولية، سواءً كانت حقيقية أو متصورة، وتكاليف التشغيل، وعدم كفاية التمويل للمنظمات العامة تعتبر من التحديات المالية الشائعة (Qutab et al., 2016). إضافة إلى وجود مجموعة من القضايا المالية المتعلقة بتنفيذ المباني الخضراء، كالتكلفة الأولية للتقنيات والأنظمة الخضراء، ونقص التمويل والدعم (Alshamsi et al., 2022).

خاتمة الفصل

يمثل التحول نحو المكتبات الخضـــراء في العالم العربي خطوة اســـتراتيجية لتعزيز الاســـتدامة البيئية والثقافية، حيث أظهرت النماذج المدروســـة في هذا الفصـــل قدرة المكتبات العربية على تبني معايير المباني الخضـراء وتطبيق حلول مبتكرة في التصـميم والتشـغيل. وقد أثبتت هذه التجارب أن دمج التقنيات البيئية الحديثة، واســـتخدام المواد المســـتدامة، وتوظيف الطاقة المتجددة، يمكن أن يسهم بشكل فعّال في تقليل الأثر البيئي، وتحسين جودة البيئة الداخلية، وتعزيز الوعي المجتمعي بقضايا الاستدامة.

وعلى الرغم من تحقيق مجموعة من المكتبات معايير المباني الخضـراء، إلا أنه لا يزال تطبيق معايير المباني الخضـــراء في المكتبات العربية يواجه تحديات متعددة، منها غياب التصـــميم الأصـــلي الملائم، وضـــعف الكفاءة والخبرة المحلية، ومحدودية الوعي البيئي والتقني، وارتفاع تكلفة التحول والتأهيل، بالإضـــافة إلى نقص الدعم المؤســـســـي وغياب الخطط الاســـتراتيجية الواضحة، كما أن اختيار المواقع غير المدروسة، ونقص المساحات الخضراء، وصعوبة تكييف المباني القائمة، تشكل عوائق إضافية أمام تحقيق الاستدامة الشاملة في هذا القطاع الحيوي.

وتؤكد هذه النتائج ضـرورة تبني نهجا متكاملا يبدأ من مراحل التخطيط والتصـميم الأولى، مع توفير برامج تدريبية متخصـصـة، وتعزيز الشـراكات مع الجهات الخبيرة، وتطوير السـياسـات الداعمة، وتخصـيص الموارد المالية والبشـرية الكافية لدعم مبادرات المكتبات الخضـراء، كما يجب التركيز على نشـر الوعي البيئي بين العاملين والمجتمع، وتضـمين مفاهيم الاسـتدامة في المناهج التعليمية، لضـمان اسـتمرارية التوجه نحو مبانٍ مكتبية مسـتدامة وصـديقة للبيئة. كما وتبرز الحاجة إلى جهود مؤسـسـية وحكومية منسـقة، تضـع الاسـتدامة البيئية ضـمن أولوياتها، وتوفر الحوافز والدعم اللازمين لتجاوز التحديات، بما يعزز دور المكتبات العربية كمؤسـسـات رائدة في خدمة المجتمع والبيئة وتحقيق التنمية المستدامة.

وفي ضـــوء التحديات والممارســـات المتباينة في تبني معايير المكتبات الخضـــراء في العالم العربي، تبرز الحاجة إلى مبادرة عربية موحدة لصياغة معيار عربي للمكتبات الخضراء، وهو ما سيُطرح تفصيلاً في الفصل الخامس من الدراسة .ويرتكز هذا المعيار المقترح على مبادئ تســـتلهم الهوية الثقافية والمعمارية للمنطقة العربية، وتتجاوب مع خصـــوصـــياتها المناخية والاقتصادية. كما يسعى إلى توفير إطار استرشادي للمؤسسات المعنية، يوازن بين متطلبات الحفاظ على البيئة، وتوظيف تقنيات البناء الذكي، وتحقيق أهداف التنمية المســـتدامة. ويُعد مثل هذا المعيار ركيزة لتعزيز التوافق الإقليمي، وتوحيد الجهود الوطنية نحو تبنّي سياسات مكتبية خضـــراء تُراعي الواقع المحلي وتنســـجم مع الأطر الدولية، مما يعزز من دور المكتبات كمؤسسات رائدة في التغيير البيئي والثقافي على حد سواء.

الفصل الخامس: الرؤية المستقبلية لتطوير المكتبات الخضراء

تتجه المكتبات في المستقبل إلى التحول إلى مؤسسات ذكية ومستدامة تدمج مبادئ البيئة والتكنولوجيا بما يعزز من دورها في تحقيق أهداف التنمية المستدامة إذ أصبحت المكتبات القلب النابض للمجتمعات، ومن ثم كان لزاماً عليها أن تكون نماذج يحتذى بها في عمليات التحول إلى الأخضر والعمل على أهمية الاستدامة البيئية العالمية ويتمثل هذا التحول في العمليات الاقتصادية والبيئية والمجتمعية فالاتجاهات العالمية في عمليات التحول إلى الأخضر يحتاج الكثير من الدعم من قبل الحكومة والمجتمع كذلك (pangail,2015). فهذه التوجهات لا تزال متأخرة كثيراً في المكتبات التقليدية والتعليمية والعامة بشكل خاص (Okojie and Okiy 2020).

تشير قواعد الاتحاد الدولي لجمعيات المكتبات والمعلومات(IFLA) إلى رفع مستويات الوعي بالاستدامة البيئة بحيث تصبح مكتبات صديقة وواعية بالبيئة وذلك من خلال الحد من استخدام الأوراق وحظر البلاستيك(Mondal,2021) فالمكتبات المستدامة لابد أن تكون صديقة للبيئة عن طريق مواردها ، وتصميمها وبنائها وتشغيلها (Morris and Kennedy,2018& Gajbhiye,2024) وهذا كله يعمل على تحسين إنشاء المباني الخضراء وصيانتها ويدعم تطوير المكتبات بطريقة أكثر استدامة(Pandey et al,.2022)، فهناك أساليب تجعل المكتبات أكثر استدامة كنظام شهادة الريادة في الطاقة والتصميم البيئي (LEED) الذي تم وضعه من قبل مجلس المباني الخضراء الأمريكي (USGBO) عام 2000(Horner and Smith,2020) فالمكتبات الخضراء ملتزمة بالاستدامة البيئية والإدارة المسؤولة، حيث تدمج بين مجموعة من الميزات والممارسات لتقليل بصمتها البيئية وتعزيز ثقافة الوعي البيئي والعمل من أجل البيئة (Weerainghe & Ramachandra,2018)، فتشمل هذه الميزات التصميم الموفر للطاقة ، واستخدام مصادر الطاقة المتجددة، والموارد المستدامة ، وتدابير الحفاظ على المياه وبرامج تقليل النفايات ، وممارسات صديقة للبيئة والتعليم البيئي وخيارات النقل الأخضر . تتبع المكتبات نهجاً واضحاً للاستدامة في عملياتها ومرافقها من خلال إعطاء الأولوية لهذه الميزات بما يقلل من تأثيرها البيئي وتعمل كنموذج للممارسات المستدامة داخل مجتمعها، مما يلهم المرتادين

والموظفين لتبني سلوكيات صديقة للبيئة والمساهمة في بناء مستقبل أكثر استدامة للأجيال القادمة (Pandey et al.,2022 ; Mondal,2021).

وتشير دراسة (2024) .Devi et al إلى أن المكتبات المستدامة تسهم في الحفاظ على البيئة من خلال تبني ممارسات البناء الأخضر ، وتقليل استهلاك الطاقة ، وتعزيز إعادة التدوير فالمكتبات تعد قدوة لمجتمعاتها وذلك من خلال إظهار كيفية دمج الاستدامة في الحياة اليومية. فالمكتبات بإمكانها تطبيق مبادئ الاستدامة وذلك من خلال تطوير مجموعاتها والتركيز على اقتناء موارد تكون ذات صلة مستدامة من حيث الاستخدام طويل الأمد وسهولة الوصول (Fedorowicz-Kruszewska,2021 & Singh& Dixit,. 2021).

تطوير المكتبات الخضراء في العالم العربي.

تتجه المكتبات الخضراء إلى إحداث تأثيرٍ في عالمنا من خلال إدارة المباني الخضراء وتوفير بيئة صحية للمستفيدين والزوار وهذا كله يتحقق من خلال التغلب على أهم العقبات التي تواجهها والمتمثلة في المقام الأول جمع وتوفير المعلومات وكيفية الوصول إليها، ومع التقنيات الحديثة المتسارعة مما يحدث تغييراً في أنماط الحياة البشرية فالمكتبات التي تحمل في رؤيتها المستدامة لا تفيد المجتمع بحسب بل يتعدى ذلك في في المساهمة في الحفاظ على الكوكب (Khalid & Batool 2020 & Vaja & Sharma,2020). وتشير الدراسات بأن الجهود العربية لا تزال محدودة ومتفاوتة بين الدول لكونها تفتقر إلى بعض الممارسات البيئية مما يعكس أن هناك حاجة ماسة إلى عمل توصيات واضحة ومقترحات في النظر إلى تجارب عالمية التي قد تساعد المكتبات العربية في عمليات الانتقال الفعلي نحو مكتبات مستدامة بيئيا ومجتمعياً(دياب، ٢٠٢٤) ومن أبرزها النهج الاستباقي ومسؤولية كل قطاعات المجتمع من خلال الإجراءات العلمية والعملية وتوعية الأفراد المتمثلة في اكساب المعرفة بالاقتصاد العالمي ،والممارسات غير المستدامة وأنظمة الامدادات والطاقة المستدامة(Henry et al. 2018) فالحملات التعريفية تدفعنا إلى

مفهوم التثقيف البيئي الذي يسهم في عمليات رفع مستوى الوعي البيئي في اتخاذ التدابير المناسبة (Omoogun 2016).

التغيير الكبير في العالم يبدأ بخطوات صغيرة ، ويمكن للمكتبات أن تحدث فرقاً كبيراً في تبني هذه التطورات من خلال تقديم نموذج لكيفية إدارة مبنى صديقة للبيئة وتوفير بيئة صحية للمستخدمين والرواد (Aulisio,2013 ; Khalid & Batool,2020) فتسعى المكتبات في تبني مستقبل مستدام من خلال الاقتصاد، البيئة ، والعدالة (Jankowska & Marcum,2010) فهي جوهر قضايا الاستدامة التي يجب أن تضمن سلامة وصحة وراحة ورضا المستخدمين مع تلبية احتياجات الحاضر دون مساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتهم (Brodie,2012) ، تعمل المكتبات في الحفاظ على المجموعات الخاصة والأرشيفات من خلال التحكم المناخي وذلك للحفاظ على تلك المجموعات بحيث يتم إتاحتها بشكل عادل ، وتوفير المواد النادرة للجميع ودعم الوثائق رقمياً والعمل على جودة الهواء الداخلي ضمن اطار استراتيجيات الاستدامة (Shane,2012)

تسعى المكتبات إلى تطوير احتياجاتها نحو الوصول إلى الاستدامة وتعزيز الوعي البيئي ودعم الاقتصاد المعرفي المستدام وذلك من خلال التالي:

١- **تعزيز الوعي بين المختصين**: العمل على تعزيز مفاهيم الاستدامة والبيئة وذلك من خلال التدريب المهني لأمناء المكتبات والعاملين فيها والعمل على إدراج المناهج التعليمية الرسمية مع التركيز على تطبيق مبادئ المكتبات الخضراء في الإدارة والخدمات.
٢- **وضع سياسات واستراتيجيات وطنية:** تحتاج المؤسسات في تبني سياسات واستراتيجيات وطنية واضحة تدعم إنشاء المكتبات الخضراء بدءاً من الاحتياجات المالية، والمعايير المرتبطة بالتشغيل وربطها بأن تكون صديقة للبيئة والعمل على تشجيع عمليات التعاون بين المؤسسات المختلفة.
٣- **الاستثمار في البنية التحتية والتقنيات الصديقة للبيئة:** أن عمليات الاستثمار تتمثل في تحديث البنى التحتية للمكتبات وذلك من أجل الحفاظ على استهلاك الطاقة والمياه،

والاعتماد على تقنيات حديثة تعمل على تقليل الطاقة مثل الطاقة الشمسية، أنظمة الإضاءة والتكيف الموفرة للطاقة.

٤- **تشجيع المبادرات والمشاريع البحثية والتطويرية:** تسهم المبادرات والأبحاث المتعلقة بالمكتبات الخضراء على تطوير وإيجاد الحلول المناسبة في التحديات التي تواجه المكتبات كالتحديات المناخية، الاجتماعية، والثقافية.

٥- **تعزيز الشراكات والتعاون الإقليمي والدولي:** تعزيز عمليات التشارك مع المنظمات الدولية والمبادرات الإقليمية المختصة بالاستدامة البيئية والاستفادة من الخبرات والموارد المختلفة

٦- **رفع الوعي المجتمعي ونشر ثقافة الاستدامة:** تلعب المكتبات الدور الفاعل في تبني توعية المجتمع بأهمية الاستدامة وذلك من خلال البرامج التعليمية وإقامة الورش والتركيز على دمج المبادرات ضمن الأنشطة والخدمات المقدمة كذلك تسعى المكتبات في توفير منصات لتبادل أفضل الممارسات

فرص الابتكار والشراكات مع المؤسسات البيئية والقطاع الخاص

لم تعد المكتبات الخضراء تعمل على تحسين كفاءة الطاقة أو البنية المادية فحسب بل أصبحت محوراً رئيسياً للابتكار البيئي وذلك من خلال التعاون والشراكات مع القطاعات المختلفة عليه أصبحت الشراكات ضرورة ملحه لتعزيز الاستدامة وتوسيع نطاق الأثر بين المؤسسات (Arzova & Sahin,2024 ,& Beka et al,.2024))

تعد شراكة المكتبات الخضراء مبادرة رائدة تجمع مجتمعاً متنوعا ومتفانياً من المكتبات والمختصين في هذا المجال ممن يتشاركون رؤية موحدة نحو مستقبل أكثر خضرة واستدامة سواء للمكتبات أو للمجتمعات التي تخدمها (Arias,2011). فتعد الابتكارات الخضراء ضرورة لتعزيز النمو، والقدرة التنافسية العالمية بالإضافة إلى ذلك أشارت دراسة (2024).Beka et al إلى أن التأثيرات الناتجة بين الطاقة المتجددة والابتكار التكنلوجي على النمو الأخضر بما يعززان المؤشرات الاقتصادية مع الإسهام في الاستدامة البيئية .

تظهر الشراكات متعددة الأطراف كوسيلة فعالة لمعالجة القضايا البيئية إذ تمكن الشراكات من دمج الموارد، وتبادل المعارف والخبرات، وتقديم حلول شاملة على مستوى الأنظمة بدلا من الحلول الجزئية أو المؤقتة فهذه الشراكات قادرة على تحقيق تأثير أوسع وأكثر عمقاً من أي جهة منفردة فهي توفر مرونة واتساعاً في معالجة المشكلات مما تسهم في بناء نماذج وحلول قابلة للتكرار والتوسع Harangozo,2015;Overbeek & Harma,2011 & Rivera-Santos (et al,.2017).

وتظهر التجربة اليابانية أهمية السياسات الوطنية للابتكار في تحقيق تقدم ملموس في التكنولوجيا البيئية والابتكار البيئي مما يجعل اليابان رائدًة عالمياً في مجال النمو الأخضر (Holroyd,2018) وبالمثل يبرز النظام الوطني للابتكار في الدنمارك مع تركيزه على الابتكار الأخضر القائم على سلاسل الإمداد (Kavin and Stentoft,2017).

أبعاد التحول نحو الاقتصاد الأخضر ودور الابتكار في تحقيق الاستدامة يمثّل التحول إلى اقتصاد أخضر ركيزة أساسية لتحفيز الابتكار الواسع عبر مختلف القطاعات، حيث تتجلى أبعاد هذا الابتكار في الجوانب الاقتصادية والاجتماعية والسياسية والمالية كما يلي:

أولاً: البعد الاقتصادي

تُعد الابتكارات الخضراء من العناصر الجوهرية لتعزيز النمو الاقتصادي، وزيادة القدرة التنافسية على المستوى العالمي، وفتح أسواق جديدة، فضلاً عن تقليل التكاليف على المدى الطويل .(Kolosok et al., 2020) يركز البُعد الاقتصادي للاستدامة، لا سيما في سياق المكتبات الخضراء، على الدور الحيوي الذي يلعبه الابتكار البيئي في تعزيز النمو الاقتصادي المستدام من خلال تحسين الكفاءة، وتقليل الهدر، وفتح أسواق جديدة، وتعزيز القدرة التنافسية على المستوى العالمي. فالابتكارات الخضراء تُسهم في رفع كفاءة استخدام الموارد، مما يُقلل التكاليف ويُعزز النمو الاقتصادي .(Dewi et al., 2024)كما يشير البحث إلى أن الاقتصاد الأخضر يخلق فرصاً لتأسيس قطاعات صناعية جديدة وتوفير وظائف، مما يعزز العائد

الاقتصادي والاجتماعي في آنٍ واحد .(Yunus et al, 2023) كما ويشكل الابتكار والتطوير التكنولوجي ركيزة أساسية لتحويل البنية التحتية الاقتصادية إلى نموذج أكثر استدامة (Eaton, 2013).

ويعززFerreira وآخرون (2022) هذا التوجه، حيث يمثل الابتكار في النماذج المؤسسية والإدارية، إلى جانب الابتكار التكنولوجي، محوراً أساسياً في تعزيز الاستدامة الاقتصادية من خلال خلق قيمة اقتصادية واجتماعية وبيئية في آنٍ واحد. وتشير إلى أن النماذج التجارية غير التقليدية التي تراعي أبعاد الاستدامة الثلاثة (البيئية، الاجتماعية، والاقتصادية) أصبحت ضرورة لمواجهة التحديات المعقدة في العالم المعاصر. في هذا السياق، يمكن للمكتبات الخضراء أن تلعب دوراً محورياً في دعم الاقتصاد الأخضر، من خلال الاستثمار في البنية التحتية المستدامة، وتبني نماذج تشغيل أكثر كفاءة وابتكاراً، مما يسهم في تقليل التكاليف ورفع القيمة الاجتماعية، وتعزيز مكانتها كمؤسسات عامة مسؤولة ومؤثرة .(Ferreira et al, 2022)

ثانياً: البعد الاجتماعي

في إطار التحول نحو الاقتصاد الأخضر، يمثل البعد الاجتماعي جانباً محورياً لضمان تحقيق الاستدامة بطريقة عادلة وشاملة. إذ يتطلب هذا التحول العادل ضمان الوصول المنصف إلى التقنيات المستدامة، مع تشجيع الأفراد على تبني أنماط حياة أكثر استدامة (Newell & Mulvaney, 2013). كما يؤكد Crespi et al. (٢٠١٦) على أهمية مراعاة مبادئ الشمول الاجتماعي في الابتكار البيئي، لضمان أن تعود فوائد هذا التحول على المجتمع بأكمله، لا على قطاعات محددة فقط. ويعزز Cook و Smith (2012) هذه الرؤية، حيث يشددان على أن السياسات الاجتماعية العادلة – بما في ذلك توزيع الموارد والمشاركة المجتمعية – تُعد أساسية لضمان نجاح الاقتصاد الأخضر، رغم أن هذا الجانب غالباً ما يتم تهميشه في الأطر العامة (Cook & Smith, 2012).

وتضيف Ferreira et al. (2022) أن الابتكار الأخضر لا ينبغي أن يُفهم فقط كتقدم تقني، بل يجب أن يتضمن بُعداً اجتماعياً من خلال تمكين الفئات المهمشة، وتوسيع فرص المشاركة في الفوائد البيئية والاقتصادية على حد سواء. وتدعو إلى اعتماد نماذج ابتكارية تعزز العدالة الاجتماعية والاقتصادية ضمن منظومة الاقتصاد الأخضر (Ferreira et al., 2022). ويدعم هذا التوجه ما طرحه Davies و Mullin (2011) من أن المؤسسات الاجتماعية قادرة على لعب دور فعّال كمراكز للابتكار المستدام، إلا أن السياسات الاقتصادية البيئية غالباً ما تُغفل هذه الإمكانات، مما يستوجب إعادة النظر في آليات التضمين والتمكين الاجتماعي (Davies & Mullin, 2011).

بالتالي، فإن تحقيق التحول الأخضر العادل يتطلب تطوير سياسات وممارسات تضمن شمولية الاستفادة، وتكافؤ الفرص، وتمكين المجتمعات المحلية من المساهمة الفعالة في مسارات التنمية المستدامة.

ثالثاً: البعد السياسي وصانعو السياسات

يُعد التنسيق بين السياسات العامة والمؤسسات ركيزة أساسية لضمان تحول فعال نحو الاقتصاد الأخضر، حيث يلعب صانعو السياسات دوراً حاسماً في تمكين الابتكار البيئي وتهيئة البيئة المؤسسية والاقتصادية اللازمة لذلك. تدعو Terzić (2023) إلى ضرورة إعادة هيكلة السياسات الاقتصادية لتكون أكثر شفافية واندماجاً، مع تعزيز التعاون بين المؤسسات، وتهيئة بيئة حاضنة للابتكار الأخضر ضمن أطر سياسية واضحة ومستقرة (Terzić, 2023). وتشير Wang وآخرون (٢٠٢٢) إلى أن التنسيق بين الحكومات ورواد الأعمال الأخضرين وواضعي السياسات يُعتبر عاملاً أساسياً في تسريع التنمية المستدامة، من خلال تعزيز بيئة مواتية للابتكار والمشاريع الخضراء (Wang et al., 2022).

وتظهر نتائج دراسة Ketchoua وآخرين (٢٠٢٤) أن فاعلية الاستثمار الأجنبي المباشر في دعم النمو الأخضر في دول منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) تزداد عند دمجه

بالابتكار التكنولوجي، مما يُبرز أهمية السياسات التي تربط بين التمويل الخارجي والتقدم في التكنولوجيا المستدامة (Gigauri et al., 2024). وفي السياق نفسه، تؤكد دراسة Pardo Martinez و Cotte Poveda (2021) أن السياسات التنظيمية وحدها لا تكفي، بل يجب أن تكون مدعومة باستثمارات استراتيجية في مجالات البحث العلمي والتكنولوجيا والابتكار لضمان تحول مستدام طويل الأمد (Pardo Martinez & Cotte Poveda, 2021).

بالتالي، فإن نجاح التحول نحو الاقتصاد الأخضر يتطلب تبني سياسات شاملة ومتكاملة، تُعزّز من خلال الشراكات المؤسسية، والتمويل الموجه، والاستثمار في البنية التحتية المعرفية، لتأمين تحول عادل ومستدام يشمل جميع فئات المجتمع.

رابعًا: البعد المالي

يتطلب التحول إلى الاقتصاد الأخضر استثمارات ضخمة ومنهجية في البنية التحتية المستدامة، تشمل مجالات مثل الطاقة المتجددة، والمباني الموفرة للطاقة، والنقل النظيف، وإدارة النفايات، والتكنولوجيا البيئية. لكن نجاح هذه الاستثمارات لا يعتمد فقط على توفر رأس المال، بل على توافر أدوات تمويل مبتكرة مثل السندات الخضراء، وصناديق الاستثمار ذات الأثر البيئي، والحوافز الضريبية، إلى جانب استراتيجيات متقدمة لإدارة المخاطر، بما يعزز من مرونة الاقتصادات وقدرتها على التكيف مع التحولات المناخية والاقتصادية الطارئة (Flammer, 2021).

في هذا السياق، تُعد التنمية المالية – أي تطوير الأنظمة والمؤسسات والأسواق المالية – عاملاً حاسماً في تمكين الابتكار الأخضر، خصوصاً في الدول النامية والاقتصادات الناشئة التي تفتقر إلى بنى تحتية مالية متقدمة. فكلما زادت كفاءة القطاع المالي، زادت قدرته على توجيه الموارد إلى مشاريع خضراء عالية المخاطر نسبياً، مثل تقنيات الطاقة النظيفة أو الزراعة الذكية مناخياً. كما تُسهم التنمية المالية في تخفيض تكلفة رأس المال المطلوب للابتكار البيئي من خلال تحسين الشفافية، وتعزيز المنافسة، وتقديم منتجات مالية تتلاءم مع طبيعة الاستثمارات المستدامة.

علاوة على ذلك، فإن وجود نظام مالي متطور يُسهل تفعيل الشراكات بين القطاعين العام والخاص، ويدعم رواد الأعمال الخضر، ويُعزّز بيئة الاستثمار من خلال خلق آليات تمويل مرنة وشفافة. وهذا يُعد شرطاً أساسياً لخلق دورة اقتصادية مستدامة، تُسهم في تسريع التحول الأخضر بطريقة فعالة وشاملة، مع تقليل الفجوة التمويلية التي تعيق العديد من الاقتصادات عن تحقيق أهدافها البيئية.

الصناعة الخضراء، مفهوم ومجال التطبيق

في هذا السياق، قامت منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (UNIDO, 2011, pp. 9–11) بصياغة مفهوم "الصناعة الخضراء"، بهدف دمج التنمية الصناعية المستدامة ضمن استجابات العالم لتحديات التنمية الشاملة. وتشير الصناعة الخضراء إلى اقتصادات تسعى إلى تحقيق نمو مستدام من خلال الاستثمار العام في مشاريع خضراء، إلى جانب وضع سياسات تحفيزية تعزز الاستثمارات الخاصة المسؤولة بيئياً .(Boeva et al., 2015; Marx, 2019) وتشمل الصناعات الخضراء مؤسسات متخصصة في:

- تقنيات إعادة التدوير واستعادة الموارد.
- إدارة ومعالجة النفايات ومياه الصرف الصحي.
- مكافحة تلوث الهواء.
- تقديم حلول متكاملة تشمل التصميم والتنفيذ وتحسين كفاءة الطاقة.
- خدمات القياس والرصد والتحليل البيئي.
- إنتاج وتركيب معدات الطاقة المتجددة وتطوير التقنيات النظيفة.

الشراكة بين القطاعين العام والخاص كدافع للابتكار الأخضر

تُعد الشراكات بين القطاعين العام والخاص (PPPs) أداة استراتيجية حيوية لدفع الابتكار الأخضر وتحقيق أهداف التنمية المستدامة، خاصة في ظل التحديات المناخية والاقتصادية

المتزايدة. يتناول هذا البحث أهمية هذه الشراكات كوسيلة لتسهيل نقل التكنولوجيا، وتحفيز الاستثمار في البنية التحتية المستدامة، وتعزيز المرونة المناخية، مع التركيز على الأمثلة العملية والتجارب الدولية. كما يستعرض التحديات والثغرات التي تواجه تفعيل هذه الشراكات، ويقترح توصيات لزيادة فاعليتها.

وتبرز الشراكات بين القطاعين العام والخاص كأداة فعالة لدفع الابتكار الأخضر والتنمية المستدامة، حيث تُسهم في دمج الموارد العامة والخاصة وتوفير بيئة مواتية للمشاريع طويلة الأمد تجمع بين الجودة والكفاءة والتكلفة المناسبة. وفقاً لـ(Vassileva (2022 ، تمثل الشراكات الخضراء بين القطاعين وسيلة مبتكرة ضمن أجندة التنمية المستدامة العالمية، حيث تتيح آليات تمويل مرنة، وتُعزز التعاون عبر مستويات متعددة من الحوكمة بما يشمل المسؤولية البيئية والاجتماعية. كما تؤكد دراسة Sergi وآخرون (٢٠١٩) أن الشراكات بين القطاعين تُعد آلية فعالة لتمويل مشاريع الاستدامة، من خلال توحيد استثمارات الحكومة ورواد الأعمال، وتقديم حلول مبتكرة ومتكاملة لمشاريع البنية التحتية البيئية والاجتماعية. وفي السياق الأوروبي، تشير دراسة Caloffi وآخرون (٢٠١٧) إلى أن السياسات العامة أصبحت تتجه نحو "الشراء الذكي" من خلال الشراكات، لتعزيز الطلب على الابتكار المستدام، مما يُمكن من تطوير مشاريع خضراء ذات بُعد استراتيجي وتنموي في آن واحد. وفي السياق ذاته، يرى Zai و (2024) Lazarأن الشراكات بين القطاعين تعزز الابتكار في مجالات متعددة مثل الطاقة المتجددة والرقمنة، وتُشكل نموذجاً فعّالاً لتوفير السلع العامة بطريقة أكثر كفاءة واستدامة. علاوة على ذلك، تلعب هذه الشراكات دوراً في تطوير شبكات حوكمة مرنة ومسؤولة، تسهّل إدارة المخاطر وتعزز ثقة المستثمرين، كما تدعم المبادرات المحلية عبر إشراك الجامعات والمجتمع المدني في صياغة حلول مبتكرة وشاملة للمشكلات البيئية.(Lehmann et al., 2010)

يشهد العالم تحولاً متسارعاً نحو اقتصاد منخفض الكربون، ويتطلب هذا التحول تفعيل آليات تمويل جديدة، وتعزيز الابتكار التكنولوجي والمؤسسي. وتُعد الشراكات بين القطاعين العام والخاص من أبرز هذه الآليات، حيث توفّر بيئة تعاونية تجمع بين الكفاءة التشغيلية للقطاع الخاص

والقدرة التنظيمية للقطاع العام.(Abdel-Latif, 2008) تشير الأدبيات إلى أن الشراكات تسهم في تسريع الابتكار الأخضر من خلال تمويل البحث والتطوير، ونقل التكنولوجيا، وتطوير حلول مستدامة في قطاعات متعددة كالنقل والطاقة والبنية التحتية. وقد برزت تجارب ناجحة مثل مشروع "Green Hydrogen Hub" في الدنمارك، الذي يجسد نموذجاً لتعايش الأهداف الربحية مع الأهداف البيئية من خلال تعاون طويل الأمد.(Arensbach, 2023) تُظهر دراسات مثل دراسة Pelizzaro (2015) أن PPPs تُستخدم كوسيلة لتمويل الطاقة المتجددة والبنية التحتية الخضراء، بما يعزز قدرة المجتمعات المحلية على التكيف مع التغير المناخي. أبرزت دراسة David & Venkatachalam (2018) أن PPPs إلى جانب البنوك الاستثمارية الخضراء تمثل أدوات فعالة لحشد رؤوس الأموال الخاصة نحو مشاريع منخفضة الكربون، من خلال أدوات مثل تقليل المخاطر وتقديم تمويل ميسر. وجدت دراسة Uzuegbunam (2024) أن الثقافة الوطنية تؤثر على حجم الاستثمارات في PPPs الخضراء، حيث تُظهر المجتمعات ذات النزعة الفردية الأقل ميلاً للاستثمار الكبير، ما يشير إلى أهمية دعم هذه الشراكات بمساندة متعددة الأطراف لتخطي الحواجز الثقافية .وتعتبر حوكمة الشراكات مرحلة مهمة من منظور شرعية وديمقراطية العمليات التعاونية، مؤكدة على ضرورة بناء نماذج شفافة تُراعي تمثيل المجتمع المدني وتحد من مخاطر استحواذ المصالح الخاصة (Bäckstrand, 2010).

تثبت الشراكات بين القطاعين العام والخاص فعاليتها كأداة استراتيجية لتعزيز الابتكار الأخضر وتحقيق التنمية المستدامة، لكن نجاحها يعتمد على وجود بيئة تنظيمية مستقرة، ودعم مؤسسي قوي، وآليات تمويل مرنة، واعتبارات ثقافية واجتماعية دقيقة. وبالتالي، فإنه من الضروري تصميم أطر تنظيمية واضحة تُشجع الشفافية وتوزيع المخاطر؛ وتعزيز دور الشركاء المحليين لضمان العدالة والشمولية؛ وإدماج آليات تقييم الأداء والاستدامة ضمن العقود؛ وتطوير ثقافة مؤسسية تدعم التعاون طويل الأمد بين القطاعين.

أمثلة دولية للابتكار الأخضر

في إطار السعي العالمي نحو تحقيق إدارة نفايات مستدامة يوجد العديد من التجارب الدولية التي شكلت نماذج ناجحة في مجال الابتكار البيئي. ففي الولايات المتحدة، برزت مدينة سان فرانسيسكو كمثال عالمي رائد، حيث طبّقت منذ أوائل الألفينات سياسة "صفر نفايات" التي تُلزم الأفراد والمؤسسات بفرز النفايات، ما ساهم في تحويل أكثر من ٨٠% من المخلفات بعيداً عن المكبّات نحو التدوير والتسميد. هذا الإنجاز تم بدعم من قوانين محلية صارمة ومشاركة فعالة من المجتمع، في سياق وطني يشهد جدلاً واسعاً حول دور البلديات والقطاع الخاص في تقديم خدمات النفايات.أما في ألمانيا، فقد تميزت مدينة فرايبورغ، ضمن سياقها كعاصمة بيئية أوروبية، بنموذج متكامل لإدارة الموارد يعتمد على التدوير المتقدم، والتعليم البيئي، والتخطيط الحضري الأخضر، ما يعكس ثقافة بيئية متجذّرة تدعم الاقتصاد الدائري وتقلل من البصمة الكربونية للمدينة (Rani & Yendluri, 2024).

في اليابان، تمثل بلدة كاميكاتسو حالة متطرفة ولكن ملهمة؛ ففي إطار سعيها للوصول إلى صفر نفايات بحلول عام ٢٠٣٠، طورت نظاماً صارماً يتطلب من السكان فرز النفايات إلى ٤٥ فئة، مع تقليل الاعتماد على الحرق أو الطمر، وهو ما يعكس ثقافة مجتمعية تقوم على الانضباط والمسؤولية الفردية . من جهة أخرى، تظهر السويد كدولة رائدة في تقنيات تحويل النفايات إلى طاقة(Waste-to-Energy) ، حيث تُستخدم المخلفات غير القابلة لإعادة التدوير كوقود لتوليد الكهرباء والتدفئة، ضمن نظام وطني متكامل يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري، ويعكس البنية التحتية المتقدمة للبلاد في مجال الطاقة المستدامة.(Rani & Yendluri, 2024)

أما في هولندا، فقد تم تبنّي نهج الاقتصاد الدائري على المستوى الوطني، حيث يتم دمج تقنيات رقمية ذكية في عمليات جمع وفرز النفايات، وتُفرض مسؤولية موسعة على المنتجين(EPR) ، مما يخلق منظومة متكاملة تحفز الابتكار الصناعي وتقلل من الفاقد (Rani & Yendluri, 2024).وتشير هذه الحالات مجتمعة إلى أهمية السياق الثقافي والمؤسسي والسياسي في تشكيل

سياسات النفايات، حيث لا يمكن استنساخ النماذج الناجحة دون مراعاة البنى التحتية، ودرجة وعي المجتمع، ومستوى التنظيم الحكومي.

كما تبرز الحاجة إلى التركيز على خدمات رعاية كبار السن، وتعرض Hazelton & Gillin, (2017) نموذجاً تجريبياً لبناء بيئة داخلية تُعزز الابتكار المستدام داخل مؤسسات الرعاية. استناداً إلى تجربة أسترالية، تستخدم الدراسة أداة تدقيق مُعدّلة وصالحة لقياس فرص ريادة الأعمال الاجتماعية المؤسسية (CSE) داخل مؤسسات رعاية المسنين. وتُقيّم الأداة دور مجلس الإدارة والإدارة والعاملين كمقدّمي رعاية في دفع مبادرات الابتكار، بما في ذلك استراتيجيات التسويق لجذب السكان المحتملين، وقياس مناخ الابتكار المستدام. وتُشير نتائج التحليل إلى أن هذه الأداة لا تقتصر على قياس الاستعداد المؤسسي للابتكار الاجتماعي، بل تساعد أيضاً في تحديد المجالات التدريبية اللازمة لبناء قدرات مؤسسية مستدامة. ومن هذا المنطلق، تبرز مؤسسات رعاية كبار السن كمختبرات حقيقية لتطبيق الممارسات الريادية الاجتماعية التي تُوازن بين تلبية الاحتياجات السكانية المتزايدة، وتحقيق التوافق مع المعايير المجتمعية والسياسات الحكومية (Hazelton & Gillin, 2017).

كما تُسلط مراجعة Cirella وآخرون (٢٠١٩) الضوء على تزايد الحاجة إلى ابتكارات في مجال النقل لتلبية متطلبات كبار السن، في ظل ارتفاع متوسط الأعمار وتزايد أنماط الحياة النشطة والصحية مقارنةً بالأجيال السابقة. وتهدف المراجعة إلى سد فجوة معرفية ملحوظة في الأدبيات المتعلقة بكيفية تطوير النقل بما يتلاءم مع هذه الشريحة السكانية، مركزة على عناصر الابتكار في وسائل النقل، والبنية التحتية، والتنظيم المؤسسي. من خلال تحليل أكثر من ٢٥٠٠ دراسة، حُددت ١٠٦ منشورات ذات صلة تستعرض أبعاد النقل الأربعة: إمكانية الوصول، والقدرة على تحمل التكاليف، والتوافر، والقبول الاجتماعي. وتشمل ابتكارات المركبات بيانات المشاة، وتصميم السيارات الخاصة والعامة، وخدمات النقل الموجه، ومركبات التنقل البطيء مثل الدراجات الكهربائية وكراسي العجلات المدعومة بالطاقة. أما ابتكارات البنية التحتية فتتناول التعديلات التقنية، والتوصيات الفنية، وحلول النقل المصممة خصيصاً للمناطق الريفية وشبه

الحضرية. وتُعالج الابتكارات المؤسسية الجوانب المتعلقة بالدعم الحكومي، والتشريعات، والمعوقات التمويلية، والتدريب الاجتماعي، واستخدام تقنيات المعلومات والاتصالات لتعزيز الشمول الرقمي لكبار السن. ورغم أهمية هذه النتائج، تشير الدراسة إلى أن معظم الأدبيات تركز على الدول المتقدمة، مما يُبرز فجوة بحثية فيما يتعلق بتطبيق هذه الابتكارات في سياقات الدول النامية، ويوفر إطاراً بحثياً خصباً للدراسات المستقبلية في هذا المجال.(Cirella et al., 2019)

وفي السياق ذاته، يناقش Bikam (2021) الأهمية المتزايدة لتبني تقنيات النقل المستدامة كوسيلة لتحقيق أهداف الاقتصاد الأخضر، لا سيما في ظل التحديات البيئية والضغط المتزايد على البنية التحتية الحضرية. يشير إلى أن الابتكار في النقل لا يقتصر على تطوير المركبات منخفضة الانبعاثات، بل يشمل أيضاً الابتكار في سياسات النقل، وتكامل وسائل النقل العامة، واستخدام أنظمة النقل الذكية (ITS) لتقليل الازدحام وتحسين الكفاءة. يستعرض الفصل حالات عملية من الدول النامية، حيث تُشكل التحديات المالية والحوكمة الحضرية عقبات أمام تنفيذ الابتكارات الخضراء، لكنه يبرز أيضاً نماذج واعدة مثل تطوير أنظمة النقل السريع بالحافلات (BRT) في المدن الإفريقية والآسيوية. كما يؤكد أن الابتكارات التكنولوجية تحتاج إلى دعم سياسي وتشريعي، بالإضافة إلى شراكات متعددة الأطراف تجمع بين القطاعين العام والخاص لتوفير بيئة تمكينية ملائمة. ويقترح أن نجاح النقل الأخضر يرتبط ارتباطاً وثيقاً بقدرة المدن على دمج التكنولوجيا مع احتياجات السكان، ضمن أطر مستدامة وشاملة.(Bikam, 2021)

تُظهر هذه المبادرات كيف أن المدن يمكن أن تلعب دوراً محورياً في قيادة التحول نحو أنماط إنتاج واستهلاك مستدامة. فعلى سبيل المثال، اعتمدت مدينة برمنغهام نموذج "التكامل الصناعي" (Industrial Symbiosis)ضمن استراتيجيتها للتنمية الاقتصادية المستدامة، وهو نموذج يقوم على إعادة استخدام الموارد والنفايات الصناعية كمدخلات في عمليات إنتاجية ضمن قطاعات مختلفة.(UNECE, 2018)

دور البحث العلمي في دعم التحول نحو الاستدامة

يمثل البحث العلمي المحرك الأساسي لتطور المجتمعات وتحقيق الاستدامة، إذ يُعد الأداة الأكثر فاعلية في استكشاف الحلول للمشكلات البيئية والاقتصادية والاجتماعية التي تواجه العالم اليوم. تؤكد Shahira و Ibrahim (2023)أن التنمية المستدامة لا يمكن أن تنفصل عن البحث العلمي، فهو الأساس الذي تُبنى عليه المشاريع التنموية في مختلف القطاعات. كما أن الجامعات، من خلال أنشطتها البحثية والتعليمية، تؤدي دوراً جوهرياً في إعداد رأس مال بشري مؤهل لدفع عجلة التنمية المستدامة.(Bindajam & Al-Ansi, 2019)

تشير الأدبيات إلى أن التحديات التي يشهدها العالم المعاصر – من انهيار الأنظمة البيئية إلى تفاقم الأزمات الاقتصادية والاجتماعية – تتطلب حلولاً مبتكرة قائمة على البحث العلمي، ولا سيما تلك التي تقدمها الجامعات والمراكز البحثية (Arnott & Lemos,2021; Clark et al,.2016) .في هذا السياق، ترى Jouda & Abu Dan (2022) وأن المؤسسات الأكاديمية يجب أن تمنح أولوياتها البحثية للتنمية المستدامة، مع ضرورة دمجها ضمن خططها الاستراتيجية ومناهجها التعليمية.

ويبرز أيضاً الدور التكاملي للبحث العلمي في تنمية المجتمعات من خلال ثلاث أبعاد رئيسية:

- **البعد الاجتماعي :**يعزز البحث العلمي قدرة الأفراد على فهم قضايا مجتمعاتهم، والتكيف مع التغيرات، وإيجاد حلول محلية مستدامة للمشكلات البيئية والاجتماعية. كما يتيح تطوير مؤشرات علمية دقيقة لقياس الأثر الاجتماعي للسياسات والمبادرات التنموية.
- **البعد الاقتصادي :**تُسهم الأبحاث التطبيقية والابتكارات التقنية في دفع عجلة النمو الاقتصادي، وخلق فرص عمل، وتطوير منتجات مستدامة ذات جدوى تجارية، ما يربط بين المعرفة والاقتصاد الإنتاجي. كما أن الأبحاث في مجالات الاقتصاد الدائري والتصنيع الأخضر تُعد أداة استراتيجية لتقليل الاعتماد على الموارد غير المتجددة وتعزيز التنافسية الاقتصادية.

- **أبعاد التنمية المستدامة :**يُوفر البحث العلمي قاعدة معرفية تمكّن من تلبية احتياجات الأجيال الحالية، دون التأثير على فرص الأجيال القادمة، من خلال الاستخدام الرشيد للموارد الطبيعية. ويمثل أيضاً أداة لتوجيه السياسات البيئية والغذائية والمائية، اعتماداً على دراسات قائمة على الأدلة.

وقد برزت أبحاث التحولات نحو الاستدامة بشكل خاص نتيجة إدراك عدم جدوى الأساليب السياسية التقليدية في التعامل مع المشكلات المعقدة والمتداخلة، كالتلوث وتزايد عدم المساواة. منذ أواخر الثمانينيات، بدأت الحكومات والباحثون في البحث عن نماذج حوكمة بديلة، أكثر تكاملاً وشمولاً. في هذا السياق، قامت الحكومة الهولندية بدعم البحث العلمي المتعلق بدور التكنولوجيا في تحقيق التنمية المستدامة، وتقليل الأثر البيئي للنمو الاقتصادي (Markard et al., 2012؛ Grin et al., 2010).

واستناداً إلى هذا التوجه، نشأ مجال بحثي جديد عُرف بـ "تحولات الاستدامة"، الذي تطور ليشكل مجتمعاً أكاديمياً متعدد التخصصات. وقد تُوج هذا التوجه بتأسيس شبكة أبحاث تحولات الاستدامة (STRN) في أول مؤتمر أوروبي حول هذا الموضوع عام ٢٠٠٩ في أمستردام، تلاه إطلاق مجلة علمية متخصصة بعنوان "الابتكار البيئي والتحولات المجتمعية" عام ٢٠١١ .(Loorbach et al., 2017) وتؤكد هذه التجارب العالمية أن الاستثمار في البحث العلمي لا يؤدي فقط إلى تطوير المعرفة، بل يمكّن أيضاً من بناء شبكات ابتكار تعاونية تسرّع من تنفيذ حلول الاستدامة. وبحسب(2019) Yassin ، فإن تحقيق أهداف البحث العلمي لن يتم بمعزل عن الخصوصيات الثقافية والحضارية لكل مجتمع، بل يجب أن تتكامل هذه الخصوصيات في صياغة أجندات البحث العلمي لتكون أكثر تجذراً وملاءمة للسياقات المحلية. كما يعزز هذا التوجه فرص نقل التكنولوجيا وتوطين الابتكار بما يتوافق مع احتياجات كل دولة. من جهة أخرى، يشير Zakora و (2016) Salemإلى أن البحث العلمي لا يقتصر فقط على الإسهام في الحلول، بل يمثل عملية دائمة لإنتاج وتحديث المعرفة في ظل المتغيرات العالمية. ويسهم أيضاً في إعداد الكفاءات البشرية التي تمتلك المهارات

والخبرات اللازمة لتبني التحول نحو التنمية المستدامة. لذا، يؤكد Mansour (2020) على ضرورة التوسع في دعم وتمويل مؤسسات التعليم العالي والبحث العلمي، مع تعزيز الشراكة بين الدولة، والقطاع الخاص، والمجتمع المدني.

كما أن الابتكار المؤسسي في مراكز البحث يمثل عنصراً محورياً لتجاوز التحديات التمويلية والتقنية، من خلال بناء شراكات دولية، وتفعيل التعاون بين الجامعات والقطاع الصناعي، وتشجيع المشروعات البحثية ذات التأثير الاجتماعي والاقتصادي الواضح. أخيراً، تبرز الحاجة إلى استثمار أكبر في البحث والتطوير بمجالات مثل إدارة الموارد، والتقنيات البيئية، والطاقة النظيفة، إذ تسهم هذه المجالات في بلورة مبادرات استراتيجية تواكب تطورات العصر وتدعم مسار الاستدامة طويل الأمد. وهذا يتطلب وضع سياسات وطنية علمية واضحة، وإطاراً تمويلياً يضمن الاستمرارية، وإجراءات تقييم تُعزز ربط نتائج البحث بصنع القرار. يمثل هذا الجدول على اهتمام بعض المؤسسات في اشراك عمليات البحث العلمي في بعض المبادرات الداعمة للبحث والابتكار من أجل التنمية المستدامة.

يستعرض الجدول (٣) مجموعة من أبرز المبادرات الدولية في مجال دعم البحث والابتكار البيئي، والتي تمثل نماذج متنوعة للسياسات الموجهة نحو تعزيز الاستدامة البيئية وتطوير التقنيات الخضراء. ورغم اختلاف هذه المبادرات من حيث الدول والمنهجيات، فإنها تشترك في هدف أساسي يتمثل في تحفيز الابتكار التقني وتطوير الحلول البيئية المستدامة عبر أدوات تمويل مرنة تشمل المنح، وبرامج التعاون، ومبادرات المدن الذكية.

جدول٣: المبادرات والبرامج الدولية الداعمة للبحث والابتكار في مجالات البيئة والاستدامة.

المبادرة	الدولة	النوع	الفترة الزمنية	الميزانية	الهدف الرئيسي
SDTC	كندا	برامج منح	٢٠٠١- حتى الآن	٨٦,٦مليون يورو (٢٠١٦)	الدعم الشركات الصغيرة والمتوسطة في تطوير وعرض حلول تقنية بيئية جديدة
MUDP	الدنمارك	برامج منح	٢٠٠٧- حتى الآن	٦,٩مليون يورو (متوسط ٢٠٠٧-٢٠١٥)	دعم وتطوير واختيار تقنيات بيئية جديدة للأعمال التجارية
MISTRA	السويد	برامج منح	١٩٩٤- حتى الآن	٢٠ مليون يورو (متوسط ١٩٩٤-٢٠١٦	دعم البحث العلمي في مجالات متعلقة بالاستدامة البيئية
PIA	فرنسا	برامج منح	٢٠١٠- ٢٠٢٥	٣٠٠مليون يورو متوسط ٢٠١٠-٢٠١٧	توفير رأس مال ومنح للبحث والتطوير في مجالات الاستدامة
ARPA-E	الولايات المتحدة	برامج منح	٢٠٠٩- حتى الآن	٢٣٢ مليون يورو (٢٠١٦)	تقديم منح لمشاريع البحث والتطوير في مجال تقنيات الطاقة
NESP	أستراليا	برامج تعاون	٢٠١٥- ٢٠٢١	١٧ مليون يورو (متوسط ٢٠١٥-٢٠٢٠	ربط مراكز التميز البحثي البيئي وتعزيز مشاركة أصحاب المصلحة
SATREPS	اليابان	برامج تعاون	٢٠٠٨- حتى الآن	٤٨,٩ مليون يورو (٢٠١٧)	دعم البحوث العلمية الدولية المشتركة لمواجهة تحديات الاستدامة
Cities of Tomorrow	النمسا	مدن ذكية	٢٠١٣- حتى الآن	٦,٢ مليون يورو (متوسط ٢٠١٣-٢٠١٨	دعم المشاريع البحثية والتطوير والتنمية الحضرية الذكية والخضراء
Future Cities Catapult	المملكة المتحدة	مدن ذكية	٢٠١٣- حتى الآن	غير متوفر	تقديم الخبرة، وتسهيل عمليات البحث التعاوني وتوفير مرافق للحلول الحضرية المبتكرة

المصدر: تقرير صادر عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD,2018, p:57)

البنية التحتية للبحث العلمي ودورها في دعم الاستدامة

تشكل البنية التحتية البحثية أحد العناصر الأساسية التي تمكّن المؤسسات الأكاديمية من لعب دور فاعل في دعم التحول نحو التنمية المستدامة. يشمل ذلك المختبرات الحديثة، والمراكز المتخصصة، وشبكات المعلومات، والمكتبات الرقمية، التي تتيح للباحثين إنتاج المعرفة وتبادلها على المستوى المحلي والدولي. وتشير دراسات حديثة إلى أن وجود بنية تحتية بحثية قوية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بجودة مخرجات البحث العلمي وتطبيقاته في مجالات مثل الطاقة المتجددة، والزراعة الذكية، والصحة العامة .(OECD, 2020) في السياق العربي، تمثل مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية (KACST) في السعودية، ومدينة زويل للعلوم في مصر، نماذج بارزة للاستثمار في البنية التحتية الداعمة للبحث والابتكار.

تمويل البحث العلمي كأداة استراتيجية لتعزيز الاستدامة

يُعدّ التمويل ركيزة أساسية في دعم البحث العلمي وتوجيهه نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة. وتشير الدراسات الدولية إلى أن الدول التي تستثمر نسباً مرتفعة من ناتجها المحلي الإجمالي في البحث والتطوير (R&D) تمتلك قدرة أعلى على إنتاج المعرفة القابلة للتطبيق وتطوير الحلول التقنية والبيئية المستدامة .(UNESCO, 2021) فعلى سبيل المثال، تُعد كوريا الجنوبية نموذجاً رائداً في هذا المجال، حيث يتجاوز إنفاقها على البحث والتطوير ٤,٥% من الناتج المحلي، ما ساهم في تعزيز مكانتها التكنولوجية، خاصة في مجالات الابتكار الأخضر والرقمي.

في المقابل، تُظهر البيانات الخاصة بالدول العربية فجوة ملحوظة في حجم التمويل والاستثمار في البحث العلمي، ما يستدعي تبنّي آليات تمويل مبتكرة تشمل تشجيع الشراكات مع القطاع الخاص، وتوسيع برامج المنح التنافسية، وتأسيس صناديق وطنية وعربية لتمويل الأبحاث ذات

الأثر التنموي. ويُعد "صندوق دعم البحث والابتكار" في الأردن أحد النماذج الحديثة التي تسعى إلى ربط التمويل البحثي بأولويات التنمية المستدامة.(ALECSO, 2022)

استناداً إلى "النشرة الإحصائية الثامنة" الصادرة عن المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (ALECSO)في ديسمبر ٢٠٢٢، يُلاحظ أن متوسط الإنفاق العربي على البحث والتطوير بلغ ٠,٦٤% من الناتج المحلي الإجمالي عام ٢٠٢٠، مقارنة بمتوسط عالمي بلغ ١,٩٣% في نفس العام. ويشير هذا التفاوت إلى تدنّي أولوية البحث العلمي في السياسات التنموية العربية .(ALECSO, 2022) الجدول (٤) يُظهر تفاوتات واضحة بين الدول العربية في الإنفاق وعدد الباحثين والمنشورات العلمية.

جدول ٤: تحليل مؤشرات الإنفاق على البحث العلمي والإنتاج المعرفي في الدول العربية.

الدولة	نسبة الإنفاق من الناتج المحلي (%)	عدد الباحثين لكل مليون نسمة	عدد المنشورات العلمية لكل مليون نسمة
الإمارات	1.45%	2,442	1,101
مصر	0.96%	677	309
تونس	0.75%	1,945	731
الأردن	0.70%	596	662
قطر	0.53%	584	1,881
السعودية	0.52%	453	1,085
الجزائر	0.53%	819	191
الكويت	0.19%	502	586
سلطنة عمان	0.37%	242	543
العراق	0.04%	106	479
سوريا	0.02%	91	45

تشير بيانات ALECSO إلى أن حصة الدول العربية مجتمعة لا تتجاوز ١,٢% من إجمالي الإنفاق العالمي على البحث والتطوير، في حين تستحوذ منطقة شرق وجنوب شرق آسيا على ٤٠,٤%، وأمريكا الشمالية على ٢٧%، والاتحاد الأوروبي على ١٨,٧ (ALECSO, 2022). ويُعزى هذا الضعف إلى غياب سياسات علمية وطنية شاملة، وانخفاض التمويل

المؤسسي طويل الأجل، إضافة إلى تدنّي مساهمة القطاع الخاص، باستثناء حالات محدودة مثل الإمارات وقطر.

من الجوانب الإيجابية، يبرز ارتفاع نسبة مشاركة النساء في أنشطة البحث العلمي في عدة دول عربية، حيث تجاوزت ٥٠% في كل من تونس والكويت، وبلغت ٤٧,١% في الجزائر و٤٥,٣% في مصر، مقارنة بمتوسط عالمي يبلغ ٢٩,٣%، ما يعكس وجود طاقات بشرية واعدة يمكن تفعيلها ضمن بيئة بحثية ملائمة.(ALECSO, 2022)

في هذا السياق، تبرز أهمية دليل فرسكاتي (Frascati Manual) الصادر عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) عام ٢٠١٥، والذي يُعد المرجع المعياري الدولي لجمع وإنتاج إحصاءات البحث والتطوير. وقد تبنّى معهد اليونسكو للإحصاء هذا الدليل كأساس منهجي في إعداد مؤشرات أهداف التنمية المستدامة، خاصة المؤشرين:

- **SDG 9.5.1** الإنفاق على البحث والتطوير كنسبة من الناتج المحلي.
- **SDG 9.5.2** عدد الباحثين لكل مليون نسمة بوحدة "معادل الدوام الكامل (FTE) " (UNESCO Institute for Statistics, 2025).

يوضّح الجدول 5 المضامين الرئيسة الواردة في دليل قياس أنشطة البحث والتطوير ويتميّز دليل فرسكاتي بالآتي:

جدول ٥: مضامين دليل فرسكاتي.

المجال	مضامين الدليل
التعريف	البحث والتطوير هو نشاط منهجي وإبداعي يهدف إلى زيادة المعرفة وتطبيقها
أنواع البحث	بحث أساسي، بحث تطبيقي، تطوير تجريبي
القطاعات المُنفذة	قطاع الأعمال، الحكومة، التعليم العالي، القطاع غير الربحي
وحدات قياس الباحثين	عدد الأفراد(HC) ، معادل الدوام الكامل(FTE)
تصنيف التمويل	التمييز بين الممول والمنفذ

ويُوصى بتطبيق هذا الدليل في الدول العربية لتحسين جودة البيانات، وضمان إمكانية المقارنة الدولية، وتوجيه السياسات البحثية على أسس إحصائية دقيقة.

بناءً على البيانات المتاحة، يمكن اقتراح حزمة من الإجراءات لتعزيز منظومة البحث العلمي في المنطقة العربية، منها:

- رفع نسبة الإنفاق على البحث والتطوير إلى ما لا يقل عن ١,٥% من الناتج المحلي الإجمالي؛
- تفعيل الشراكات المؤسسية بين الجامعات وقطاعات الأعمال؛
- تطوير تشريعات وطنية تشجّع على التمويل المشترك للأبحاث؛
- تأسيس صندوق عربي موحد لدعم المشاريع البحثية المتميزة؛
- توحيد أدوات القياس الإحصائي وفق دليل فرسكاتي، وتحديثها سنوياً.

العلاقة بين السياسات الوطنية والبحث العلمي

تلعب السياسات الوطنية دوراً حاسماً في توجيه مخرجات البحث العلمي نحو دعم أهداف التنمية المستدامة أو إعاقتها. فحين تُدمج أهداف البحث ضمن الأجندة الوطنية، يمكن تعزيز الابتكار والاستجابة الفاعلة للتحديات البيئية والاجتماعية. على سبيل المثال، تسهم أجندة الأمم المتحدة ٢٠٣٠ في دفع الدول لتبني خطط وطنية تستند إلى أدلة علمية وتقارير بحثية. كما يُعد "برنامج Horizon Europe" للاتحاد الأوروبي نموذجاً رائداً في تمويل الأبحاث متعددة التخصصات التي تخدم أهداف الاستدامة. في السياق العربي، تبرز الحاجة إلى سياسات بحثية منسقة تضمن التكامل بين الجامعات وصنّاع القرار، وتعزز الشفافية في تحديد الأولويات البحثية وتوزيع الموارد. ويُعد تطوير مراكز دراسات السياسات والربط بين التعليم العالي والأجهزة الحكومية خطوة مهمة لتحقيق هذا التكامل.

مؤشرات قياس أثر البحث العلمي على الاستدامة

لقياس فعالية البحث العلمي في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، طُوّرت مجموعة من المؤشرات والأدوات الدولية. من أبرزها:

- مؤشر الابتكار العالمي :(GII) يقيس أداء الدول في الابتكار بناءً على مدخلات مثل البنية التحتية والمعرفة، ومخرجات مثل الابتكارات التقنية والبحثية، وهو مؤشر معتمد دولياً يستخدم لمقارنة أداء الأنظمة البحثية (Cornell University, INSEAD, & WIPO, 2023).
- تصنيف تأثير الجامعات :(THE Impact Rankings) يُقيّم مساهمة الجامعات في تحقيق أهداف التنمية المستدامة من خلال أنشطتها البحثية، التعليمية، والمجتمعية، وهو مؤشر يعتمد على معايير مثل الأبحاث البيئية، العدالة، المساواة، وجودة التعليم (Times Higher Education, 2023).
- نسبة الإنفاق على البحث والتطوير من الناتج المحلي :يُعد هذا المؤشر من أهم أدوات تقييم التزام الدول بدعم بيئة علمية مستدامة، حيث توضح النسبة مدى جدية الدولة في الاستثمار المعرفي من أجل تحقيق التنمية.

تؤكد تقارير المؤشر العالمي للابتكار "Global Innovation Index 2023" (GII - و"Global Innovation Index 2024 Lite"، (أن الابتكار أصبح محوراً أساسياً لمعالجة التحديات العالمية مثل تغير المناخ، ندرة الموارد، وأهداف التنمية المستدامة. وقد رُصد اهتمام متزايد بقطاعات تدعم الاستدامة، مثل المباني الخضراء، تقنيات الطاقة المتجددة، والبنية التحتية الذكية، وهو ما يُترجم في ازدياد الاستثمار في البحث والتطوير في هذه المجالات (WIPO, 2023).

برزت المكتبات أيضاً في بعض الدول كمساحات تعليمية مجتمعية ذكية و"مراكز معرفة" تُستخدم لدعم التعليم المستدام ومحو الأمية الرقمية، خاصة في البيئات الريفية والهشة. على سبيل المثال،

ظهرت مبادرات في دول مثل كوريا الجنوبية والسويد لتحويل المكتبات العامة إلى مراكز رقمية مفتوحة تدعم التعلم مدى الحياة وتقدم موارد رقمية خضراء مرتبطة بالابتكار البيئي.

أداء الدول العربية في مؤشرات الابتكار والتنمية المستدامة

- **الإمارات العربية المتحدة** جاءت في المرتبة ٣٢ عالمياً في مؤشر الابتكار لعام ٢٠٢٣، وتُعد الأعلى تصنيفاً في المنطقة العربية. سجلت الإمارات تقدماً ملحوظاً في مؤشرات البنية التحتية والبيئة التنظيمية الداعمة للابتكار، لا سيما في مشاريع المدن الذكية والبنية الخضراء .(WIPO, 2023)
- **المملكة العربية السعودية** احتلت المرتبة ٤٨ في المؤشر وحققت أداءً قوياً في مجالات الابتكار المؤسسي والتعليم التقني، مدفوعة بسياسات وطنية مثل رؤية ٢٠٣٠ التي تشمل الاستثمار في الأبحاث وتطبيقات الطاقة المتجددة.
- **مصر** جاءت في المرتبة ٨٦ ولكنها أظهرت تحسناً نسبياً في مؤشرات رأس المال البشري والتعليم، مع ضعف واضح في تحويل الإنفاق على البحث إلى مخرجات قابلة للتطبيق تجارياً أو اجتماعياً، وهو ما يشير إلى فجوة في الحوكمة والربط بين المؤسسات البحثية واحتياجات السوق.

وذكر التقرير أن الاستثمار في البنية التحتية المستدامة يشكل أحد المؤشرات الحديثة لقياس التقدم في الابتكار الأخضر. تقنيات البناء منخفض الكربون والمباني المعتمدة على الطاقة المتجددة أصبحت جزءاً من التقييم، مع تطور مؤشرات مثل:

- **كفاءة الطاقة في البنية التحتية**
- **عدد براءات الاختراع المسجلة في مجال تقنيات البناء الأخضر**
- **تكامل البنية التحتية الذكية في المدن الناشئة**

ومع ذلك، لا تزال الدول العربية بشكل عام متأخرة في هذا المجال مقارنة بأوروبا وآسيا، رغم وجود مشاريع متقدمة في الإمارات والسعودية والمغرب.

ويتضح أن الابتكار والبحث العلمي يمثلان محركاً حيوياً نحو تحقيق الاستدامة، خاصة في قطاعات مثل المباني الخضراء والمكتبات الذكية، والتي يمكن أن تتحول إلى منصات لنشر المعرفة والتقنيات الصديقة للبيئة. رغم بعض النجاحات العربية، لا تزال المنطقة بحاجة إلى تعزيز الربط بين السياسات الوطنية، التعليم العالي، والاستثمار في البحث التطبيقي لضمان مخرجات ذات أثر تنموي مستدام.

نماذج من دول عربية في دعم البحث العلمي من أجل الاستدامة

تُظهر بعض الدول العربية توجهات واضحة نحو الاستثمار في البحث العلمي كوسيلة لتحقيق التنمية المستدامة. ففي المملكة العربية السعودية، أُطلقت «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية والابتكار» التي تشجع على ربط البحث العلمي بالأولويات الوطنية، خاصة في مجالات الطاقة المتجددة والمياه والذكاء الاصطناعي. كما أن مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية (KACST)تلعب دوراً محورياً في تمويل الأبحاث التطبيقية المرتبطة بأهداف الاستدامة .(KACST, 2022) ويمثل السياق الأردني مثالاً عملياً على أهمية تكامل السياسات الوطنية مع البحث العلمي لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، لا سيما في ظل التحديات الاقتصادية والبيئية والاجتماعية التي يواجهها البلد. يشير تقرير برنامج الأغذية العالمي (WFP, 2023) إلى أن الأردن يعاني من ضغوط متزايدة تتعلق بالأمن الغذائي، وشح الموارد الطبيعية، والفقر، ما يستدعي استراتيجيات قائمة على المعرفة والبحث العلمي. وقد أكدت الوثيقة ضرورة توجيه الأبحاث نحو تطوير حلول مبتكرة لتحسين الإنتاج الزراعي المحلي، وتعزيز كفاءة استخدام الموارد، والحد من الاعتماد على الواردات، لا سيما في ظل ارتفاع التهديدات المناخية. كما تبرز أهمية تعزيز الشراكات بين المؤسسات الوطنية والجامعات ومراكز الأبحاث، من أجل تطوير حلول تطبيقية قابلة للتنفيذ في الميدان، لا سيما في المجتمعات الريفية والمضيفة للاجئين. وتوصي

الوثيقة كذلك بتعزيز قدرات جمع البيانات وتحليلها لدعم اتخاذ القرار، وهو ما يفتح المجال أمام البحث العلمي لتطوير أدوات رقمية وتحليلية حديثة تُستخدم في تصميم السياسات المستندة إلى الأدلة. يُعد هذا النهج فرصة للأردن لدمج البحث العلمي في عملية صنع القرار الاستراتيجي، بما يعزز من القدرة على الصمود والتكيف مع التحولات الإقليمية والعالمية. وفي الإمارات العربية المتحدة، يُعد برنامج «محمد بن راشد للابتكار الحكومي» أحد أبرز المبادرات التي تحفز الجامعات والمؤسسات البحثية على تقديم حلول مبتكرة في مجالات البيئة والتنمية الحضرية والنقل المستدام. وقد ساهمت هذه المبادرات في إدراج عدة جامعات إماراتية ضمن تصنيفات التأثير العالمي لجامعات الاستدامة (Mohammed Bin Rashid Centre for Government Innovation, 2021). أما في المغرب، فقد تم تأسيس «المركز الوطني للبحث العلمي والتقني (CNRST)» «لتنسيق الجهود البحثية الوطنية ودعم مشاريع البحث في قطاعات الفلاحة المستدامة، وتحلية المياه، والطاقة النظيفة، مع التركيز على المناطق القروية والهشة. وتعكس هذه النماذج الحاجة إلى سياسات وطنية منسجمة مع الاستراتيجيات البحثية، وتعزيز الحوكمة والتمويل والتعاون الإقليمي من أجل بناء منظومات علمية عربية فاعلة تسهم في التحول المنهجي نحو الاستدامة.

الفصل السادس: المعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء

مقدمة

في ظل تصاعد التحديات البيئية وتغير المناخ، بات لزاماً على مؤسسات المعلومات، وخاصة المكتبات، إعادة النظر في أدوارها البنيوية والمجتمعية، من أجل المساهمة الفاعلة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة. وانطلاقاً من خصوصية السياقات العربية كدول نامية، يتطلب تصميم معيار عربي للمكتبات الخضراء تبنّي نهج مرن، واقعي، وقابل للتطبيق في ظل محدودية الموارد وتفاوت البنى التحتية.

يهدف هذا الفصل إلى تقديم معيار يمكن اعتماده عربياً لتأسيس وتشغيل المكتبات الخضراء، مستوحىً من أفضل الممارسات العالمية مثلLEED ، EDGE، BREEAM، وDGNB، مع تكييفها للبيئة الثقافية والاجتماعية والاقتصادية في الدول النامية.

إطار مؤسسي مقترح لتطوير وتنفيذ المعيار العربي للمكتبات الخضراء

يستند تطوير المعيار العربي للمكتبات الخضراء إلى رؤية مؤسسية تكاملية تهدف إلى توحيد الجهود العربية في مجال الاستدامة البيئية داخل مؤسسات المعلومات، وضمان وجود جهة إشرافية قادرة على قيادة هذا التحول. ويمكن أن تتولى الإشراف على تنفيذ المعيار جهة عربية متخصصة تتمتع بطابع إقليمي، مثل الاتحاد العربي للمكتبات والمعلومات (أفلي)، أو لجنة عربية مشتركة تُشكّل بالتنسيق بين وزارات الثقافة والتعليم العالي والبيئة في الدول الأعضاء. وتضطلع هذه الجهة بمسؤولية وضع الإطار المرجعي للمواصفات والمعايير الفنية، وإدارة منصة الاعتماد الإلكتروني التي تُقدّم من خلالها المكتبات طلبات التقييم، إلى جانب تنظيم برامج تدريب وتأهيل للمختصين في مجالات التصميم المستدام وإدارة المرافق البيئية.

كما تلتزم الجهة المشرفة بإنشاء نظام دعم معرفي ومهني متكامل يوفّر للمكتبات أدوات إرشادية، ودلائل تطبيقية، واستشارات فنية تساعدها على تحقيق متطلبات الاعتماد. ويُعد هذا الإطار

المؤسسي عنصرًا حاسمًا لضمان استدامة المعيار العربي وفاعليته على المدى الطويل، من خلال تحقيق التكامل بين الجوانب التنظيمية والتقنية والتعليمية، وتعزيز التعاون الإقليمي في مجال التحول البيئي للمكتبات العربية.

الأسس الفلسفية والمنهجية للمعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء

في سياق عالمي يتجه بشكل متسارع نحو تكريس مفاهيم التنمية المستدامة، تبرز الحاجة إلى تأطير الجهود البيئية داخل القطاع الثقافي والمعرفي، ومنه المكتبات، من خلال تطوير معايير قابلة للتطبيق وذات خصوصية محلية. ويتطلب بناء معيار عربي موحد للمكتبات الخضراء تبنّي رؤية منهجية وفلسفية تجمع بين الامتثال للمعايير الدولية من جهة، والمرونة في التكيّف مع السياقات العربية من جهة أخرى. وتُبنى هذه الرؤية على ثلاثة محاور تكاملية:

التكامل بين المحلي والعالمي

يعكس هذا المحور التوجه نحو المواءمة بين الأنظمة البيئية الرائدة عالمياً مثل - LEED، BREEAM، وEDGEو DGNB - وبين الواقع المناخي والاقتصادي والاجتماعي في الدول العربية. وقد أثبتت التجارب أن النقل الحرفي للمعايير الغربية لا يراعي دوماً التحديات المحلية مثل ندرة المياه، تفاوت القدرات المؤسسية، وارتفاع درجات الحرارة في المناخات الصحراوية، فعلى سبيل المثال في المملكة العربية السعودية، تم تكييف معايير LEED لتلائم بيئة صحراوية باستخدام مواد محلية وتقنيات التهوية الطبيعية (Snøhetta, 2018) من هنا، يصبح تطوير معيار مرن يجمع بين الصرامة العلمية والمرونة التنفيذية ضرورة وليس خياراً .

أ. الشمولية عبر دورة الحياة

يعتمد المعيار العربي على مبدأ دورة الحياة الكاملة (Life Cycle Thinking) ، إذ لا يقتصر التقييم على مرحلة البناء، بل يمتد ليشمل:

- التخطيط المسبق والتصميم

- اختيار الموقع
- أنظمة التشغيل والصيانة
- سلوك المستخدمين
- برامج التوعية المجتمعية

وبذلك يتجاوز النموذج العربي النظرة التقليدية نحو المبنى كمادة صلبة، ليصبح "كائناً بيئياً ديناميكياً" يتفاعل مع مستخدميه وموارده. وقد تجلّت هذه الفلسفة بوضوح في مكتبة محمد بن راشد من خلال أنظمة استعادة الطاقة، والإضاءة الذكية، والمراقبة البيئية اللحظية (AESG, 2025).

2. المرونة والتكيف مع السياقات العربية

تُعد التباينات بين الدول العربية من حيث القدرة التمويلية، وتوفر التقنيات، ومدى النضج المؤسسي، من التحديات الجوهرية أمام تطبيق معيار موحد. لذلك، يُصمم هذا المعيار على شكل نظام "طبقات" متعددة أو مستويات أداء تدريجية(Basic - Advanced - Exemplary) ، بحيث تتمكن كل مكتبة من التدرج في مسار التحول نحو الاستدامة بحسب إمكانياتها. مثلا، مكتبات جامعية في الأردن والمغرب اعتمدت حلولاً منخفضة التكلفة مثل استخدام الطاقة الشمسية والتهوية الطبيعية دون الاعتماد على أنظمة إدارة ذكية باهظة التكاليف.

المعايير العامة المقترحة للمكتبة الخضراء في السياق العربي

أولا: المعايير الإدارية

1. الرؤية والحوكمة

ينبغي أن تتبنى المكتبات رؤية استراتيجية تعزز من التزامها بالاستدامة البيئية، عبر إدماج المبادئ الخضراء في خططها التشغيلية والسياسات المؤسسية (حاتم، ٢٠٢٠؛ دياب، ٢٠٢٤). ويتحقق ذلك من خلال تشكيل لجان داخلية متخصصة تُعنى بتنسيق جهود التحول البيئي ومتابعة مؤشرات الأداء البيئي.

2. التمويل

تحتاج المكتبات في الدول العربية النامية إلى تنويع مصادر التمويل، سواء عبر الشراكات مع الهيئات البيئية والبلديات أو من خلال مبادرات التمويل الدولي مثل برامج الأمم المتحدة أو صندوق المناخ الأخضر .(UNESCO, n.d.) ويمثل التمويل التدريجي نهجاً عملياً، يبدأ بتحسينات بسيطة مثل ترشيد الإنارة والورق، ويتوسع لاحقاً حسب الإمكانات.

ثانياً: المعايير البيئية للبنية التحتية

1. اختيار الموقع

يشدد كل من LEED و BREEAMعلى أهمية اختيار مواقع يسهل الوصول إليها باستخدام وسائل النقل العام أو غير الملوثة للبيئة، مثل الدراجات أو السير على الأقدام، وذلك لتقليل البصمة الكربونية .(Goel & Kumar, 2023) كما يُفضل أن يقع الموقع بعيداً عن المناطق الملوثة أو المعرضة للفيضانات، وأن يكون متكاملاً مع البيئة الحضرية المحيطة بطريقة تقلل من التأثير السلبي على النظام البيئي (سدوس، ٢٠٢٣).

2. التصميم المعماري

اعتماد مبادئ العمارة المستدامة ضرورة، ويشمل ذلك التهوية الطبيعية، الإضاءة الطبيعية، واستخدام مواد بناء صديقة للبيئة منخفضة الانبعاثات ومتجددة أو محلية، مع إمكانيات إعادة التدوير، مثل الطين، الطوب المحلي، الأخشاب المعاد تدويرها، والعوازل الطبيعية (Carr, 2013؛ دياب، ٢٠٢٤). تُوصي أنظمة مثل DGNB و EDGEبالتصميم القائم على الأداء البيئي لا على الشكل فقط، ما يعني دمج الاستدامة منذ مرحلة التخطيط الأولي.

3. إدارة الطاقة

توصي أنظمة LEED و EDGEباستخدام:

- أنظمة الإضاءة.LED
- مستشعرات الحركة لتقليل الاستهلاك وأنظمة إدارة الطاقة الذكية(EMS) ، التي تراقب استهلاك الكهرباء وتقدم تحليلات دورية، وتُساهم في تقليل الهدر الطاقي بنسبة تصل إلى ٣٥%
- ألواح شمسية لتوليد الكهرباء (حتى بنسبة ١٠–٣٠%).
- أجهزة ذات كفاءة عالية في التبريد والتدفئة.(Hauke, Latimer, & Niess, 2021)

هذه الحلول ضرورية في البلدان ذات المناخ الحار، مثل الخليج العربي وشمال أفريقيا. في مكتبة جامعة سنغافورة الوطنية تم دمج النباتات الداخلية لتقليل التبريد الاصطناعي (Anand et al., 2019).

4. إدارة المياه

يوصي كل من BREEAM و EDGEبتطبيق تدابير لترشيد المياه، منها:

- تركيب صنابير ذكية تقلل تدفق المياه.

- جمع مياه الأمطار واستخدامها في الري.
- إعادة استخدام مياه أجهزة التكييف لري المساحات الخضراء (IFLA, 2024 ; الإمارات اليوم، ٢٠٢٣).

هذه الإجراءات حيوية في البيئات التي تعاني من شح المياه مثل بعض الدول العربية.

ثالثاً: المعايير التشغيلية والخدمية

1. مجموعات المكتبة

تشدد الأنظمة الحديثة مثل DGNB و LEEDعلى أن المكتبة الخضراء لا تقتصر على بنية مستدامة، بل يجب أن يتجلى مفهوم الاستدامة في مجموعاتها المعرفية أيضاً. يشمل ذلك:

- تطوير محتوى متخصص حول موضوعات البيئة، الطاقة المتجددة، التغير المناخي، الحوسبة الخضراء، وغيرها (سدوس، ٢٠٢٣).
- التحول التدريجي إلى المصادر الرقمية لتقليل الورق وتقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن النقل والطباعة (شاهين، ٢٠٢٤).
- إعادة استخدام أو تدوير المواد المعرفية القديمة بدلاً من التخلص منها، بما يخدم أغراض تعليمية وتوعوية.(Kesuma & Rahmawati, 2024)

2. الخدمات والأنشطة المجتمعية

وفقاً لأنظمة BREEAM وDGNB، يجب أن تقدم المكتبة الخضراء خدمات معرفية وتعليمية متعلقة بالاستدامة تشمل:

- ورش عمل حول إعادة التدوير، ترشيد استهلاك الماء والطاقة، الزراعة المنزلية.
- معارض كتب بيئية.
- جلسات سرد قصص بيئية للأطفال.

- حملات توعوية بالتعاون مع المدارس، الجمعيات، والبلديات (Ameur & Kadi, 2023).

3. تقليل النفايات والتشغيل الرقمي

تشجع معايير EDGE و LEEDعلى تقليل استخدام الورق والمواد ذات الاستخدام الواحد من خلال:

- رقمنة الفهارس والمعاملات.
- اعتماد البريد الإلكتروني بدلاً من المراسلات الورقية.
- تقليل الطباعة، واستخدام ورق معاد تدويره عند الضرورة.
- توفير نقاط فرز للنفايات داخل المكتبة.(Kisibi, 2017)

كل هذه الممارسات تساهم في خفض البصمة البيئية للمكتبة وتحقيق مبدأ "التحول إلى مكتبة بلا ورق."

رابعاً: المعايير الثقافية والمجتمعية

أ. ربط الاستدامة بالهوية الثقافية

تشير أنظمة مثل **DGNB**إلى أهمية السياق الثقافي والاجتماعي في إنجاح مشروعات البناء المستدام، ويُعد ذلك حاسماً في العالم العربي. إذ لا تكتفي المكتبة الخضراء بتبني معايير تقنية، بل تسعى إلى دمج مفاهيم البيئة والاستدامة في نسيج المجتمع المحلي من خلال:

- توظيف عناصر العمارة التقليدية المستدامة (مثل المشربيات، الأسقف العالية، الطين المشوي، وغيرها).
- ربط مفهوم البيئة في المكتبة بالتراث العربي من خلال القصص، والأمثال الشعبية، والموروث الزراعي.

- إقامة فعاليات ثقافية تتناول "البيئة في التراث العربي" أو "المياه في الحضارة الإسلامية."

2. الشراكات المجتمعية

توصي معايير مثل **LEED** و**DGNB** بتفعيل علاقات الشراكة مع الجهات المحلية لتوسيع نطاق التأثير البيئي. وفي السياق العربي، تشمل هذه الجهات:

- البلديات والمجالس المحلية.
- المدارس ومراكز التعليم غير النظامي.
- الجمعيات الشبابية والنسائية.
- المساجد والمراكز الدينية.

ويمكن أن تسهم هذه الشراكات في تنظيم حملات تنظيف، تشجير، إعادة تدوير، أو محاضرات عامة حول قضايا مثل التصحر والتلوث.

3. مكتبات الأطفال والتعليم البيئي المبكر

أثبتت التجارب الدولية مثل مكتبة "The Hive" في بريطانيا، أهمية إشراك الأطفال في مفاهيم البيئة من خلال:

- مكتبة الطفل الخضراء: ركن مخصص لتعليم الأطفال عبر القصص التفاعلية والأنشطة البيئية.
- تعليم مهارات إعادة الاستخدام وصنع الأدوات من المخلفات.
- تنظيم نوادي بيئية مدرسية داخل المكتبة أو بالتعاون معها.(Carr, 2013)

أدوات التقييم ومؤشرات الأداء البيئي(EPIs)

تُعد مؤشرات الأداء البيئي الركيزة الأساسية التي يُبنى عليها تقييم مدى تحقق الاستدامة في المكتبات الخضراء. فهي لا تُستخدم فقط كأداة قياس، بل أيضاً كوسيلة لتحسين القرارات الإدارية، وتوجيه الاستثمار البيئي، ورفع كفاءة التشغيل. ويقترح "المعيار العربي الموحد" إطاراً تكاملياً لهذه المؤشرات، مستنداً إلى الممارسات الدولية، مع دمج متطلبات الواقع العربي المناخي والتقني. تؤكد أنظمة مثل **LEED**، **BREEAM**، **DGNB**، **EDGE** أن مراقبة الأداء البيئي شرط أساسي لضمان جودة المكتبة الخضراء واستمراريتها، لذلك توصي بوضع مؤشرات أداء بيئي تُقاس دورياً.

١. مؤشرات الأداء البيئي

١,١ كفاءة الطاقة والمياه

- **استهلاك الطاقة السنوي للمتر المربع :(kWh/m²/year)** يقيس كمية الطاقة الكهربائية المستخدمة داخل المكتبة سنوياً بالنسبة لوحدات المساحة. تُستخدم هذه البيانات للمقارنة بين الأداء الحالي وخط الأساس الوطني أو الإقليمي.
  - وفقاً لتقارير مكتبة محمد بن راشد، أدى استخدام الطاقة الشمسية وتقنيات التهوية الذكية إلى تقليل استهلاك الطاقة بنسبة **40%** مقارنة بالمكتبات التقليدية.
- **استهلاك المياه :(L/m²/year)** يُحتسب بناءً على كمية المياه المستخدمة لكل متر مربع سنوياً، ويأخذ في الاعتبار أنظمة الترشيد، وإعادة الاستخدام، ومصادر المياه البديلة.
  - في مركز "إثراء"، ساهمت تجهيزات توفير المياه في تقليل استهلاك المياه الصالحة للشرب بنسبة **.60%**

2. ١ إعادة التدوير وإدارة النفايات

- **نسبة إعادة التدوير :(%)** تمثل نسبة المواد المعاد تدويرها من إجمالي النفايات المنتجة. يُفضَّل أن تصل إلى أكثر من ٥٠% في المكتبات المعتمدة.
- **معدل تحويل النفايات العضوية :(Composting rate)** خاص بالمكتبات التي تعتمد حدائق داخلية أو مقاهي. تُحسب نسبة النفايات العضوية التي يتم تحويلها إلى سماد.

تطبق مكتبة قطر الوطنية نظام فرز متقدم يشمل النفايات الورقية والإلكترونية والعضوية، ما يعزز فعالية الإدارة البيئية الشاملة.

1,3 جودة البيئة الداخلية(IEQ)

تشمل مجموعة من المؤشرات التي تُقيس بيئة العمل والراحة داخل المكتبة:

- **مستوى ثاني أكسيد الكربون :(ppm CO_2)** يُعد مؤشراً رئيسياً على جودة التهوية.
- **الإضاءة الطبيعية :(%)** نسبة المساحات التي تعتمد على الإضاءة الطبيعية طوال ساعات النهار.
- **الراحة الحرارية :(Thermal Comfort Index)** تُقاس من خلال استبيانات المستخدمين أو نماذج المحاكاة الحرارية.

أشارت دراسات إلى أن أنظمة التهوية الذكية قادرة على تقليل استهلاك الطاقة بنسبة ٦٠%، وتحسين جودة الهواء بشكل ملحوظ داخل المكتبات.

1,4 الاعتماد على الموارد المتجددة

- **نسبة الطاقة المتجددة المُنتجة محلياً من إجمالي الاستهلاك :(%)** يشمل ذلك استخدام الطاقة الشمسية (PV) أو الحرارية أو الرياح في تشغيل أنظمة الإنارة والتكييف.

على سبيل المثال، تعتمد مكتبة محمد بن راشد على نظام شمسي كهروضوئي يغطي نحو **10%** من احتياجاتها الكهربائية.

1,5 مؤشر الانبعاثات الكربونية

- **معدل الانبعاثات الكربونية (kg CO_2e/m^2/year):** يقيس الأثر البيئي للمكتبة من حيث انبعاثات غازات الدفيئة. ويُستخدم كمؤشر شامل لتقييم مدى التقدم في تخفيض البصمة الكربونية.

1,6 مؤشرات مجتمعية وسلوكية

- **معدل مشاركة المستفيدين في البرامج البيئية:** عدد المشاركين في الورش والندوات البيئية سنوياً.
- **مستوى رضا الموظفين والمستفيدين عن البيئة الداخلية:** يتم جمعه عبر استبيانات دورية، ويُعتبر مؤشراً تكاملياً بين الجودة البيئية وفعالية الخدمات.

تستخدم مكتبات مثل "بيت الحكمة" قاعات مخصصة للبرامج البيئية والمجتمعية، ما يعزز المشاركة الشعبية في جهود الاستدامة.

1,7 مؤشرات تكاملية مركبة(Composite Indicators)

يمكن إنشاء مؤشرات مركبة مثل:

- **مؤشر الأداء الأخضر للمكتبة (Library Sustainability Index - LSI):** يجمع بين الأداء في الطاقة، المياه، النفايات، والبيئة الداخلية بنظام نقاط.

مستلهم من نماذج مثل مؤشر "LESPI" المستخدم لتقييم استدامة المكتبات في الولايات المتحدة(جدول٦).

جدول ٦: مؤشرات الأداء البيئي المقترحة

المؤشر	أداة القياس	التكرار المقترح
استهلاك الكهرباء السنوي	فاتورة / عداد(kWh)	شهري
استهلاك المياه السنوي	عداد المياه ($م^3$)	شهري
عدد الفعاليات البيئية المنفذة	سجل الفعاليات	فصلي
نسبة استخدام الورق المعاد تدويره	سجلات المشتريات	نصف سنوي
نسبة المواد الرقمية مقابل الورقية	بيانات فنية من نظام المكتبة	سنوي
عدد الشراكات البيئية الفاعلة	تقارير التعاون	سنوي

التقييم الذاتي للمكتبة

وفقاً لنظام **EDGE**و**DGNB**، يُوصى باعتماد استبيان تقييم ذاتي داخلي يقيس مدى التقدم في تنفيذ ممارسات الاستدامة، يشمل المحاور التالية:

- البنية المعمارية والموقع.
- الطاقة والمياه.
- الإدارة البيئية (الورق – النفايات).
- الأنشطة والمحتوى المعرفي.
- التفاعل المجتمعي.

التوصيات وآليات التطبيق لتفعيل المعيار العربي للمكتبات الخضراء

أولاً: التوصيات التنفيذية

استناداً إلى أفضل الممارسات العالمية المستخلصة من أنظمة **LEED**، **EDGE**، **BREEAM**، و **DGNB**وتجارب ناجحة في دول عربية، يُوصى باتباع التوصيات التالية لتسهيل تطبيق المعيار العربي للمكتبات الخضراء:

١. **صياغة سياسة بيئية داخلية**

- تحدد رؤية واضحة للاستدامة.
- تشمل أهدافاً زمنية (قصيرة، متوسطة، طويلة).
- تُراجع دورياً وتدمج في الخطط التشغيلية.

٢. **التحول التدريجي المستدام**

- المرحلة الأولى (منخفضة التكلفة): الإضاءةLED ، تقليل الورق، رفع الوعي.
- المرحلة الثانية (متوسطة): التهوية الطبيعية، الشراكات، المحتوى البيئي.
- المرحلة الثالثة (مرتفعة): الطاقة الشمسية، التصميم البيئي المتكامل.

٣. **بناء قدرات الموظفين**

- تنظيم تدريبات داخلية حول التشغيل الأخضر.
- الاستعانة بخبراء محليين بيئيين.
- إدماج مفهوم "الاستدامة اليومية" في ثقافة العمل.(CILIP, n.d)

٤. **إقامة شراكات استراتيجية**

- تعاون مع البلديات، الوزارات، الجامعات.
- إشراك طلاب وأكاديميين في تطوير المؤشرات والتقييم.
- التعاون مع نوادي بيئية أو مبادرات مدنية محلية.

٥. **رقمنة العمليات والخدمات**

- اعتماد حلول رقمية للفهرسة والمعاملات.
- إتاحة المحتوى إلكترونياً خاصة في المناطق النائية.
- تقليل الاعتماد على الطباعة والمواد الورقية.

٦. **التوثيق والمساءلة البيئية**

- توثيق كافة الخطوات والإجراءات البيئية المنفذة.
- إصدار تقرير بيئي سنوي للمكتبة.(Environmental Impact Report)
- استخدام أدوات مثل Google Forms أو Excel لمتابعة المؤشرات البيئية.

٧. **الاعتماد المحلي والدولي**

- التقديم على شهادات عربية أو إقليمية عبر المؤسسات الجامعية.
- التحضير على المدى المتوسط للتقديم على شهادات مثل:
  - LEED للإنشاءات
  - EDGE للتمويل منخفض الكلفة
  - ENSULIB للتكريم المعنوي

ثانياً: آليات التطبيق العملية

إن ترجمة المعيار من إطار نظري إلى ممارسة مؤسسية فعالة تتطلب خطة واضحة، تُقسم إلى أربع مراحل:

١. مرحلة التخطيط والتصميم

- تشكيل فريق داخلي يضم إداريين وفنيين وخبراء بيئيين.
- تحديد درجة الطموح البيئي (أساسي – متقدم – متميز).
- دمج المعايير منذ البداية في التصميم الهندسي.

مثال :اعتمدت مكتبة محمد بن راشد معيار LEED Gold منذ مرحلة التصميم، مما سهل دمج تقنيات التهوية الطبيعية والإضاءة الذكية قبل بدء البناء.

٢. مرحلة البناء والتوريد

- التعاقد مع موردين معتمدين بيئياً.
- إدماج تقنيات الطاقة الشمسية والمياه الرمادية أثناء البناء.
- توثيق العمليات والمشتريات لاستخدامها في طلبات الاعتماد.

٣. مرحلة التشغيل والصيانة

- تطبيق **نظام إدارة بيئية داخلي (EMS)** لرصد الاستهلاك والصيانة الدورية.
- تدريب الطاقم الفني والإداري على التشغيل الفعّال وصيانة الأنظمة الخضراء.
- إجراء عمليات تدقيق بيئي (Green Audit) سنوية داخلية أو خارجية.

٤. مرحلة التقييم والاعتماد

- تعبئة استبيانات التقييم الذاتي للمكتبة.
- إعداد ملف شامل يتضمن الأدلة والرسوم البيانية وسجلات التشغيل.
- التقديم لهيئة اعتماد وطنية أو إقليمية.

ثالثاً: التحديات المتوقعة وسبل معالجتها

يُظهر تحليل التجارب الإقليمية والعالمية في تبنّي مفهوم المكتبات الخضراء أن الانتقال نحو هذا النموذج المستدام يواجه مجموعة من التحديات المؤسسية والتقنية والمجتمعية التي تحدّ من سرعة تطبيقه في العالم العربي. ففي حين تتزايد المبادرات الأكاديمية والبحثية التي تدعو إلى دمج مبادئ الاستدامة البيئية في تصميم وتشغيل المكتبات، لا تزال العوائق البنيوية (كالتمويل، والتشريعات، والوعي البيئي، وضعف الكفاءات المتخصصة) تمثل عقبة أمام التنفيذ العملي المستدام.

يستعرض الجدول (٧) أهم هذه التحديات كما رصدتها الدراسات الحديثة (شبلحي وصابور، ٢٠٢٠؛ واحد، ٢٠٢٢؛IFLA, 2023) ، مع تفسير مختصر لكل منها، ويقترح حلولًا عملية قابلة للتنفيذ في السياقات العربية من خلال نماذج تمويل بديلة، وشراكات أكاديمية، وحملات توعوية مؤسسية يمكن أن تسهم في تحقيق التحول نحو مكتبات أكثر خضرة واستدامة.

جدول ٧: التحديات الرئيسة والحلول المقترحة لتطبيق نموذج المكتبات الخضراء في البيئات العربية.

التحدي	التفسير	الحلول المقترحة
ارتفاع الكلفة الأولية	الحاجة لتقنيات ومواد صديقة للبيئة	نماذج بناء منخفضة التكلفة، شراكات تمويل
نقص الكفاءات البيئية	قلة المعماريين المدربين بيئياً	تدريبات إقليمية، تعاون مع الجامعات
غياب السياسات الملزمة	ضعف الدعم الحكومي للمكتبات الخضراء	التوصية بسياسات وطنية من اتحاد المكتبات
محدودية وعي المستفيدين	ضعف التفاعل المجتمعي	حملات توعية مستمرة وإشراك مباشر للمستخدمين

رابعاً: توصيات تسهيلية داعمة

- **نموذج تدريجي للتبني** :يُقسم إلى ٣ مستويات(Bronze – Silver – Gold) ، ويُمنح حسب درجة الالتزام.
- **أدلة إرشادية مصورة** :تُصدرها هيئة الإشراف على المعيار، لتسهل التفسير والتطبيق.
- **منصة إلكترونية تفاعلية** :لرفع الملفات، ومتابعة الأداء، وتبادل الخبرات بين المكتبات العربية.
- **صندوق تمويل تحفيزي** :عبر جهات مثل UNDP أو IFC أو صناديق عربية.

التكامل مع المعايير الدولية: معيار عربي قابل للاعتراف العالمي

يُعد التكامل مع المعايير الدولية خطوةً محورية في تطوير المعيار العربي الموحد للمكتبات الخضراء، إذ يُوفر هذا التكامل إطاراً مرجعياً علمياً ومهنياً يضمن جودة الأداء، ويُسهّل عملية الاعتراف الدولي بالمبادرات البيئية في العالم العربي. لكن هذا التكامل لا يعني تقليداً حرفياً للمعايير الغربية، بل تكييفاً واعياً يراعي الخصوصيات المناخية، الثقافية، الاقتصادية، والمؤسسية للمنطقة. هذا القسم يُقدّم تحليلاً مقارناً بين الأنظمة الدولية الأربعة الأكثر استخداماً:

LEED، BREEAM، EDGE، وDGNB، مع إبراز نقاط التلاقي والاختلاف، وإمكانات "التعريب" والتكامل.

أ. مقارنة هيكلية

يُقدّم الجدول (٨) مقارنة هيكلية بين أنظمة تقييم الاستدامة البيئية في المباني على المستوى الدولي، المعيار العربي المقترح للمكتبات الخضراء. يهدف التحليل إلى توضيح الفروقات الجوهرية في النطاق الجغرافي، الهيكل التنظيمي، منهجية التقييم، وسهولة التطبيق، مع إبراز الخصائص التي يمكن تكييفها لتلائم البيئات العربية والمؤسسات الثقافية والتعليمية. وتُظهر المقارنة أن الأنظمة العالمية الأربعة تتسم بعمومية في تطبيقها، إذ لم تُصمم خصيصًا لقطاع المكتبات، بينما يتميّز المعيار العربي المقترح بتركيزه المباشر على الاستدامة في مؤسسات المعلومات من خلال محور خاص بالمكتبات. كما يراعي المعيار العربي اللغة والثقافة الإقليمية في صياغة المؤشرات، ويعتمد نموذجًا مرنًا وقابلًا للتكيّف مع احتياجات الدول النامية والموارد المتاحة لها، بخلاف بعض الأنظمة الغربية التي تتطلب خبرات هندسية وتقنية عالية أو شهادات مكلفة. تُعد هذه المقارنة خطوة تأسيسية نحو بلورة إطار عربي موحّد لتقييم المكتبات الخضراء، يدمج المعايير الدولية بالاعتبارات الاجتماعية والثقافية والاقتصادية في المنطقة، بما يعزز دور المكتبات كمحركات للتنمية المستدامة في العالم العربي.

جدول ٨: مقارنة هيكلية بين أنظمة تقييم المباني الخضراء العالمية والمعيار العربي المقترح للمكتبات الخضراء.

البند الرئيسي	LEED	BREEAM	EDGE	DGNB	المعيار العربي
النطاق الجغرافي	عالمي	أوروبا والكومنولث	الأسواق الناشئة	أوروبا (ألمانيا)	العالم العربي
الهيكل التنظيمي	نقاط (100)	فئات معيارية	3مؤشرات رقمية	مؤشرات دورة حياة	فئات معيارية أو نظام نقاط
التركيز على المكتبات	لا	لا	لا	لا	نعم (محور رئيسي)
اللغة والثقافة	إنجليزي	إنجليزي جزئياً	متعدد اللغات	ألماني-إنجليزي	عربي / إقليمي أو محلي

سهولة التطبيق في الدول النامية	متوسطة	محدودة	مرتفعة	مشروطة بالتخصص	مرن للتكيف	وقابل

المصدر :تحليل تركيبي لمصادر الأنظمة الرسمية ودراسات الحالة العربية (Ferreira et al., 2023; Piętocha, 2024; IFC, 2024).

2. أوجه التوافق الفني

رغم الاختلافات المنهجية بين الأنظمة، إلا أن هناك قواسم فنية مشتركة يمكن أن يشكّل المعيار العربي نقطة تقاطع بينها، أهمها:

- **كفاءة الطاقة** :عنصر جوهري في جميع الأنظمة، يتضمن تقنيات ترشيد وإنشاءات منخفضة الانبعاث.
- **إدارة الموارد المائية** :الحنفيات الذكية، إعادة الاستخدام، وتجميع مياه الأمطار) متكرر في BREEAM و.(EDGE
- **تحسين جودة البيئة الداخلية** :التهوية الطبيعية، جودة الهواء، الإضاءة الطبيعية LEED)و.(DGNB
- **توثيق الأداء والتحقق** :ضرورة وجود مؤشرات قابلة للقياس والتقييم الدوري.

اقتراح منهجي: يمكن استيراد البنية العامة (Structure) من المعايير الدولية، وتخصيص الفئات والمؤشرات لتُلائم المكتبات، مثل "نسبة المصادر الرقمية"، أو "عدد الأنشطة البيئية المجتمعية."

3. التكييف وفق الخصوصية العربية

تكمن قوة المعيار العربي في توطين المفاهيم البيئية، بما يعكس الواقع المحلي دون التضحية بالجودة، ويشمل هذا التكييف:

- **التبسيط الإجرائي** : خفض الاعتماد على أدوات قياس معقدة أو مكلفة.
- **المواءمة المناخية** : دمج قضايا مثل الجفاف، التصحر، ارتفاع الحرارة، ونُدرة الماء.
- **الاحتواء المجتمعي** : منح نقاط إضافية للأنشطة البيئية التشاركية والتثقيفية، وهي نقطة مغفلة في LEED و.EDGE
- **الاعتراف بالعمارة التقليدية المستدامة:** كالأسقف المرتفعة والمشربيات، ضمن تصميم "أخضر" محلي.

مثلا، في حين تُركّز LEED على الأداء الإنشائي، يمنح المعيار العربي أولوية لممارسات "الاستدامة المجتمعية" مثل تنظيم المكتبة لورش بيئية في المدارس أو الأحياء.

4. إمكانات الاعتماد المتبادل **(Cross-recognition)**

من الأهداف المستقبلية للمشروع العربي إنشاء نظام اعتماد متقاطع مع المؤسسات العالمية، وذلك عبر:

- **الامتثال لمعايير ISO** ذات الصلة، مثل:
  - أنظمة الإدارة البيئية - ISO 14001
  - إدارة الطاقة -ISO 50001
- **الاعتماد على أدوات دولية معترف بها** مثل:
  - EDGE App (IFC)
  - EnergyPlus و RETScreen لمحاكاة الطاقة.
- **تصميم نظام اعتماد مركّب** يسمح بالحصول على شهادة عربية ومحلية في آنٍ واحد.

5. تحديات التكامل

على الرغم من الفوائد العديدة التي توفرها أنظمة التقييم البيئي الدولية مثل LEED و BREEAMو DGNBفي تحسين الأداء المستدام للمباني، إلا أن تطبيقها في المكتبات العربية

يواجه مجموعة من العقبات الواقعية التي تحدّ من فاعلية التكامل معها بشكل مباشر. تنبع هذه العقبات من الفجوة بين متطلبات الأنظمة العالمية والبنية التحتية الإقليمية من حيث الكلفة، والكوادر، والتجهيزات التقنية والمعمارية.

يوضح الجدول٩ أبرز هذه التحديات كما رصدتها الدراسات المقارنة (واحد، ٢٠٢٢؛ السيد، ٢٠٢٢؛IFLA, 2023) ، مع تفسير مختصر لكل منها. فمن جهة، تُشكّل الكلفة المرتفعة لتطبيق أنظمة التقييم الغربية — بما تتطلبه من رسوم وشهادات واستشاريين معتمدين — عائقًا أمام المكتبات الصغيرة أو محدودة التمويل. ومن جهة أخرى، تعاني المؤسسات العربية من فجوة في المواءمة المعمارية نتيجة اعتماد تلك الأنظمة على مواد بناء وتقنيات طاقة غير متاحة محليًا. كما يبرز نقص الكفاءات البيئية كعامل مؤثر، نظرًا لقلة عدد المقيمين المعتمدين أو المهندسين المتخصصين في تصميم المباني المستدامة. وأخيرًا، يُضاف إلى ذلك غياب الأدلة التقنية المحلية التي يمكن أن تُرشد المكتبات في تطبيق معايير الاستدامة ضمن سياق عربي خاص، ما يعزز الحاجة إلى إعداد دليل هندسي وبيئي عربي للمكتبات الخضراء يجمع بين الأصالة والمعايير الدولية.

جدول ٩: العقبات التطبيقية في مواءمة المعايير الدولية للمباني الخضراء مع بيئة المكتبات العربية

التحدي	التفسير
الكلفة المرتفعة	تطبيق أنظمة مثل LEED يتطلب رسوماً واستشاريين معتمدين.
فجوة المواءمة المعمارية	الأنظمة الغربية تفترض مواد وتقنيات غير متوفرة محلياً.
نقص الكفاءات	قلة عدد المقيمين المعتمدين في الدول العربية.
غياب الأدلة التقنية المحلية	الحاجة إلى تطوير مرجع هندسي وبيئي مخصص للمكتبات العربية.

إجراءات مقترحة للحصول على الاعتماد

يُعد نظام الاعتماد أحد الركائز التنفيذية الجوهرية في تفعيل المعيار العربي للمكتبات الخضراء، إذ يُترجم الالتزام البيئي إلى إجراءات قابلة للقياس والتوثيق والمكافأة. وتشمل مراحل الاعتماد ما يلي:

أ. تقديم الطلب

نظرًا لعدم وجود منصة أو جهة رسمية لاعتماد المكتبات الخضراء على المستوى العربي حتى الآن، فإن الآلية المقترحة تستند إلى تصورٍ مستقبلي لإنشاء نظام إلكتروني موحد يُدار من قبل جهة إشرافية متخصصة مثل الاتحاد العربي للمكتبات والمعلومات أو جهة إقليمية بيئية معتمدة.

تبدأ المكتبة الراغبة في الحصول على شهادة الاعتماد بتقديم نموذج إلكتروني مبدئي عبر هذه المنصة، ويتضمن:

- **وصف تفصيلي للمشروع** :يشمل الموقع الجغرافي، المساحة الكلية، الميزانية، والجهة المشغّلة وإجراءات التشغيل.
- **تحديد نوع المكتبة (فئة التقييم)** :مثل مكتبة عامة، جامعية، وطنية، مدرسية، أو متخصصة، وذلك بهدف تخصيص المعايير والمؤشرات بما يتناسب مع طبيعة الخدمات، حجم المؤسسة، والسياق التشغيلي.
- **إرفاق الوثائق والأدلة الداعمة** :مثل الرسومات الهندسية، بيانات استهلاك الموارد، أنشطة التوعية، وخطط التشغيل البيئي.

وتُعدّ مرحلة تقديم الطلب من الخطوات الأولى الجوهرية في عملية التقييم، إذ تتيح للمكتبة تحديد مستوى جاهزيتها المبدئية وفق مؤشرات المعيار العربي المقترح، كما تُسهم في بناء قاعدة بيانات عربية للمكتبات التي تتبنى مبادئ الاستدامة. من شأن إنشاء هذه المنصة أن يُسهِم في توحيد إجراءات الاعتماد، وتوفير شفافية في عملية التقييم، إضافة إلى تسهيل تبادل الخبرات والمعايير

الفنية بين المكتبات في مختلف الدول العربية، بما يرسّخ البنية المؤسسية لتطبيق مفهوم المكتبات الخضراء على المستوى الإقليمي.

2. التقييم الفني

يُعيّن مُقيّم أو فريق تقييم معتمد، يتولى المهام التالية:

- **مراجعة الأدلة والوثائق** :وفق قائمة مراجعة موحدة تعتمد على بنود المعيار العربي.
- **الزيارة الميدانية (عند الحاجة)** :للتحقق من مطابقة التطبيق الفعلي للمعايير.
- **تحليل الأداء البيئي** :يشمل استهلاك الطاقة والمياه، جودة الهواء والإضاءة، وفعالية التشغيل الأخضر.

3. إصدار الاعتماد

بناءً على نتائج التقييم، تُمنح المكتبة شهادة اعتماد رسمية، وتتضمن:

- **تصنيف المكتبة وفق مستويات الأداء:**
  - **البرونزي** :استيفاء الحد الأدنى من المعايير الأساسية.
  - **الفضي** :تحقيق أداء مستقر ومستدام في مختلف المحاور.
  - **الذهبي** :التميز البيئي وتكامل الحلول في التصميم والتشغيل والمجتمع.
- **الإدراج الرقمي** :تُوثق المكتبة المعتمدة في منصة عربية إلكترونية، تُشكّل قاعدة بيانات للمؤسسات الخضراء في قطاع المكتبات.

4. آليات المتابعة والتجديد

لضمان الحفاظ على الأداء البيئي للمكتبة بعد الحصول على الاعتماد، يتضمن النظام دورة متابعة واضحة وديناميكية، تشمل:

- **مدة صلاحية الاعتماد** :تمتد شهادة الاعتماد لثلاث سنوات قابلة للتجديد.
- **المتابعة السنوية** :تُلزم المكتبة بتقديم تقرير سنوي محدث يشمل بيانات استهلاك الموارد (طاقة، ماء)، التحديثات الإنشائية، وخطط التشغيل.
- **إعادة التقييم** :تُجرى مراجعة شاملة في نهاية دورة الاعتماد أو في حال حدوث تغييرات كبيرة في التصميم أو الوظيفة. على سبيل المثال، نظام BREEAM يُعيد تقييم المبنى في حال أُجريت تعديلات جوهرية تؤثر على الأداء البيئي.

5. الدعم الفني والمؤسسي

تلتزم الجهة المشرفة على تنفيذ المعيار العربي بتوفير منظومة دعم شاملة تساعد المكتبات على فهم المعايير وتطبيقها بفاعلية:

أ. الأدلة الإرشادية

- توفير كتيبات رقمية وورقية توضّح منهجية جمع البيانات البيئية وتوثيقها.
- توفير نماذج تقارير معيارية لتوحيد أسلوب التقديم وتحسين جودة الملفات.

ب. التدريب وبناء القدرات

- تنظيم ورش تدريبية موجهة للعاملين في المكتبات والمؤسسات المرشحة للاعتماد.
- إنشاء مسارات اعتماد وطنية لمُقيّمين بيئيين متخصصين في مجال المكتبات، ما يسهم في خفض الكلفة وزيادة التغطية الإقليمية.

ج. الدعم الرقمي والفني

- تطوير منصة إلكترونية تفاعلية تُتيح:
  - تقديم الطلبات الإلكترونية.
  - متابعة حالة الاعتماد وتقييم الأداء.

- تحميل النماذج الجاهزة وطلب الاستشارات الفنية.
- الوصول إلى مجتمع معرفي عربي مشترك لتبادل التجارب والخبرات.

التحديات المرتبطة بعملية الاعتماد

رغم وضوح الرؤية المؤسسية للمعيار العربي المقترح للمكتبات الخضراء، فإن تطبيقه الميداني يواجه مجموعة من التحديات الإجرائية والتنظيمية التي تتطلب تخطيطًا مرحليًا واستجابات مرنة تتناسب مع واقع المكتبات في الدول العربية. ففي ظل التباين في البنية التحتية، والموارد، ومستوى الوعي البيئي بين الدول، تبرز الحاجة إلى معالجة العقبات التشغيلية التي قد تحد من فعالية تنفيذ المعيار واستدامته. يوضح الجدول (١٠) أهم هذه التحديات المتوقعة ويقترح حلولًا عملية قائمة على مبادئ التدرج والتمكين المؤسسي.

جدول ١٠: التحديات التنفيذية للمعيار العربي المقترح للمكتبات الخضراء والحلول الممكنة لتجاوزها.

التحدي	التفسير	الحلول المقترحة
تعقيد الوثائق والمتطلبات	المكتبات الصغيرة قد تفتقر إلى أنظمة توثيق متقدمة	تبسيط المتطلبات، توفير نماذج جاهزة ودعم فني مباشر
قلة عدد المقيمين البيئيين المتخصصين	قلة الكفاءات في مجال التقييم المكتبي الأخضر	إنشاء برامج اعتماد وطنية للمُقيّمين، بالتعاون مع الجامعات
التفاوت البنيوي بين الدول والمؤسسات	اختلاف البنية التحتية بين المكتبات الريفية والحضرية	تخصيص فئات تقييم مرنة حسب الموقع ونوع المكتبة
ضعف ثقافة الاستدامة المؤسسية	انخفاض الوعي البيئي بين العاملين والمستفيدين	إطلاق حملات توعية دائمة، وتضمين المستفيدين في المبادرات البيئية

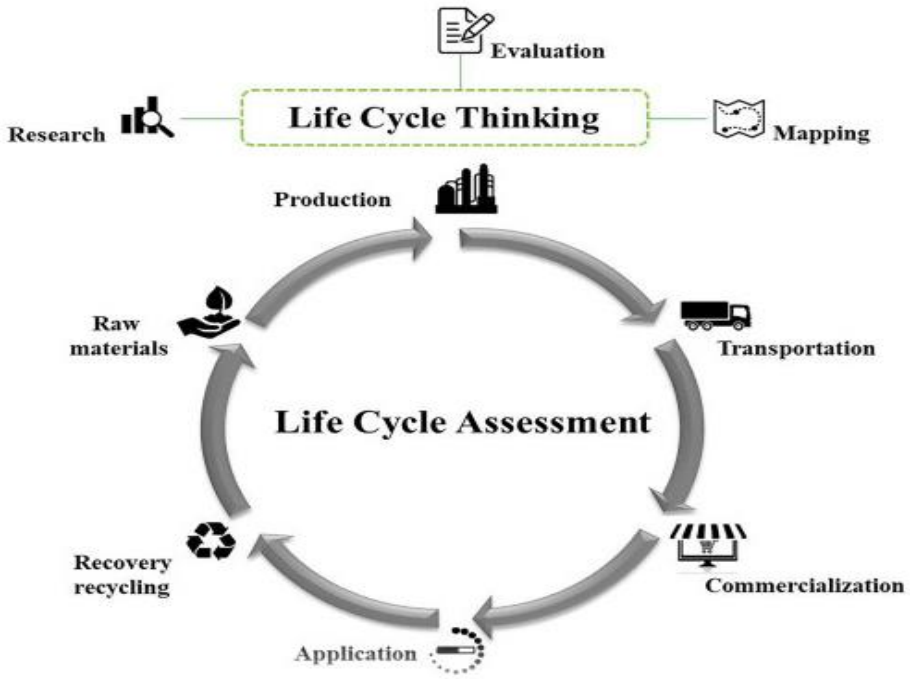
خاتمة الفصل

في ظل التحديات البيئية، والضغوط الاقتصادية، والتحولات المجتمعية المتسارعة في العالم العربي، لم يعد التحول نحو "المكتبات الخضراء" خياراً تجميلياً أو معمارياً، بل أصبح ضرورة استراتيجية لإعادة تعريف دور المكتبة كمؤسسة متعددة الأبعاد: معرفية، بيئية، ومجتمعية. يُقدّم "المعيار العربي للمكتبات الخضراء" إطاراً مرناً وقابلاً للتطبيق، مستلهماً من أبرز النماذج الدولية في البناء المستدامLEED ، EDGE، BREEAM، DGNB، مع إعادة تكييفه ليتناسب مع الواقع العربي من حيث الإمكانات الاقتصادية، الخصوصيات الثقافية، والهياكل المؤسسية في الدول النامية.

يمتاز هذا المعيار برؤية مزدوجة تجمع بين الخبرات الدولية متطلبات المكتبات العربية، مما يمنحه قدرة القبول والتأثير، والانتقال بالمكتبات من دورها التقليدي إلى كونها مراكز إشعاع للاستدامة البيئية والمعرفة المجتمعية. ولا يقتصر نجاح المعيار على توفر الموارد، بل يعتمد بالدرجة الأولى على وضوح الرؤية، وجودة الإدارة، ومرونة الأدوات .كما تُمثّل الشراكة بين الحكومات، والجامعات، والمجتمع المدني حجر الزاوية في ترسيخ ثقافة المكتبة الخضراء، وتحقيق تحولها إلى نموذج يحتذى به على مستوى الإقليم.

في هذا السياق، يُعد نظام الاعتماد البيئي أحد الأعمدة الأساسية لتفعيل المعيار، إذ يُحوّل المبادئ النظرية إلى ممارسات قابلة للقياس والمساءلة، ويعزز من ثقافة التقييم والتحسين المستمر داخل المؤسسات. كما يُسهم هذا النظام في بناء قاعدة معرفية متقدمة، تُساعد في تطوير السياسات البيئية الوطنية، ودعم خطط التنمية المستدامة للقطاع الثقافي والمعلوماتي في الوطن العربي. ومع توفر البنية التحتية الرقمية، والأدلة الإرشادية، وآليات الدعم المؤسسي، فإن المكتبات العربية تمتلك فرصةً حقيقيةً للانخراط في شبكات الاعتماد البيئي العالمية، بما يفتح أمامها آفاقاً جديدة للتمويل، التعاون، والاعتراف الدولي، ويجعل منها رافعة استراتيجية لتحقيق العدالة البيئية، والتكامل التنموي، والنهضة المعرفية المستدامة في العالم العربي.

يتبنى هذا المعيار نهج "دورة الحياة الكاملة (Life Cycle Thinking) "، حيث لا يقتصر التقييم على مرحلة البناء، بل يشمل سلسلة متكاملة من مراحل التخطيط، التشغيل، وسلوك المستخدمين.



الشكل ١٣: نموذج دورة الحياة الكاملة (المصدر: Farjana et al, (2021))

وبالتالي، يتجاوز هذا الإطار النظرة التقليدية نحو المبنى كمادة صلبة إلى اعتباره كائناً بيئياً ديناميكياً يتفاعل مع مستخدميه وموارده. وتجسّد هذه الفلسفة ممارسات متقدمة كما في نموذج مكتبة محمد بن راشد، التي اعتمدت أنظمة استعادة الطاقة، الإضاءة الذكية، والمراقبة البيئية اللحظية.

يشمل هذا:

- التخطيط المسبق والتصميم
- اختيار الموقع
- أنظمة التشغيل والصيانة
- سلوك المستخدمين
- برامج التوعية المجتمعية

يتسم هذا المعيار بالمرونة وقابلية التطبيق على كل من المكتبات الجديدة والمباني القائمة:

- في حالة المكتبات الجديدة، يُمكن دمج معايير الاستدامة ابتداءً من مرحلة التخطيط والتصميم والإنشاء، لضمان بناء مكتبة خضراء شاملة تستوفي المعايير منذ البداية.
- في حالة المكتبات القائمة، يوفّر المعيار نموذجاً تدريجياً للتحول البيئي، يبدأ بتحسينات تشغيلية منخفضة الكلفة، ويمكن تصعيده تدريجياً وفق الإمكانات، مع اعتماد أدوات تقييم مرحلية.

معايير ما قبل التخطيط والتصميم(Pre-Design & Planning Standards)

المعيار	التوصيف	الأداة المقترحة	المرجعية
تحليل الموقع البيئي	إجراء تقييم أولي للنظام البيئي المحيط (تربة، مناخ، تنوع بيولوجي، ضوضاء، فيضانات)	Environmental Site Assessment (ESA)	LEED, BREEAM
اختيار الموقع وفق مبادئ التنقل المستدام	تحديد موقع قريب من وسائل النقل العام والدراجات والمشاة لتقليل الانبعاثات	GIS / Walkability Index	LEED ND
تحليل احتياجات المجتمع المستهدف	تحليل سلوكيات واحتياجات المستفيدين وأهداف المشاركة المجتمعية من البداية	ورش استماع مجتمعية، استبيانات	DGNB, EDGE

التخطيط العمراني منخفض الكربون	تحديد شكل وتصميم المبنى بما يقلل من استهلاك الطاقة المستقبلية	Energy Modeling / Sefaira	LEED, EDGE
دمج أهداف الاستدامة في وثائق المناقصة والتصميم	إعداد كراسة شروط واضحة تتضمن معايير خضراء ملزمة للمصممين والمقاولين	مستند تصميم أولي مستدام	DGNB, IFC
تقييم دورة الحياة Life Cycle Assessment	تحليل الأثر البيئي المتوقع من المواد والتصميم والتشغيل	LCA Software مثل One Click LCA	DGNB, BREEAM
خطة مشاركة الأطراف المعنية	خارطة شاملة تشمل: المصممين، المجتمع، الجامعات، الموردين المحليين	مخطط شراكة Stakeholder Engagement Plan	LEED Integrative Process

استدامة الموقع **Site Sustainability**

البند	*المعيار*	*الممارسات المقترحة*	*النظام المرجعي*	*أداة القياس*
1.1	اختيار موقع مستدام	قرب الموقع من وسائل نقل عامة أو مستدامة (مشاة/دراجات)	LEED, BREEAM	مسح جغرافي، نظام نقاط
1.2	تقليل التأثير البيئي على الأرض	تجنب المواقع القريبة من مصادر التلوث أو الفيضانات	DGNB, BREEAM	تقرير تقييم بيئي
1.3	دمج الطبيعة مع التصميم	مساحات خضراء، أسطح خضراء، تكامل بصري مع المحيط	LEED, DGNB	خطة معمارية ورسوم بيانية
1.4	تعزيز التنقل النشط	مواقف دراجات، ممرات مشاة، تقليل مواقف السيارات	BREEAM, EDGE	مسح مرافق
1.5	إدارة مياه الأمطار	استخدام تقنيات جمع وإعادة استخدام مياه الأمطار	LEED, EDGE	خطة إدارة مائية

كفاءة المياه **Water Efficiency**

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
2.1	تقنيات الترشيد	صنابير منخفضة التدفق، حساسات حركة	EDGE, LEED	تدقيق استهلاك مائي
2.2	إعادة استخدام المياه	استخدام مياه التكييف أو الأمطار في الري	EDGE, BREEAM	تقرير استخدام داخلي
2.3	تقليل استخدام المياه العذبة	نباتات محلية لا تحتاج إلى ري دائم	DGNB	خطة تصميم بيئي نباتي
2.4	مراقبة وتحليل استهلاك المياه	تركيب عدادات ذكية لكل نظام	EDGE	لوحة مراقبة وتحليل

كفاءة الطاقة والانبعاثات **Energy Consumption & GHG Emissions**

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
3.1	أنظمة إنارة عالية الكفاءة	إضاءةLED ، مستشعرات إضاءة	LEED, EDGE	تقارير فنية/فواتير
3.2	أنظمة تكييف ذكية	وحدات HVAC موفرة للطاقة + إدارة عبرBMS	EDGE, DGNB	استهلاك الطاقة شهري
3.3	الطاقة المتجددة	ألواح شمسية، سخانات شمسية	LEED, EDGE	نسبة تغطية إجمالية من الطاقة
3.4	تحليل دورة الحياة الطاقية	تقييم الأداء الطاقي خلال العمر الافتراضي	DGNB	نموذج محاكاة طاقي (RETScreen)
3.5	تقييم الانبعاثات	كمؤشر kg CO2/m²/year قياسي	LEED, BREEAM	أدوات حساب كربوني معتمدة

المواد والموارد **Materials & Natural Resources**

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
4.1	اختيار مواد منخفضة التأثير البيئي	مواد محلية، معاد تدويرها، منخفضة الانبعاث	DGNB, LEED	شهادة الموردين، تحليل دورة حياة
4.2	إدارة مخلفات البناء والتشغيل	فصل النفايات، إعادة الاستخدام في الأثاث	BREEAM	سجل النفايات
4.3	تقليل استخدام البلاستيك والمواد غير المتجددة	بدائل صديقة للبيئة في التعبئة والخدمات	EDGE	تحليل مشتريات مكتبية
4.4	الاستخدام الذكي للورق	طباعة مزدوجة، ورق معاد تدويره، رقمنة الوثائق	LEED, EDGE	نظام إدارة إلكتروني

جودة البيئة الداخلية **Indoor Environmental Quality (IEQ)**

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
5.1	جودة الهواء الداخلي	تهوية طبيعية + استشعار ثاني أكسيد الكربون	LEED, BREEAM	أجهزة قياس بيئي داخلي
5.2	الإضاءة الطبيعية والراحة البصرية	نوافذ واسعة، فتحات سقفية، إضاءة غير مباشرة	LEED, DGNB	تحليل الإضاءة، رضا المستخدمين
5.3	الراحة الحرارية والصوتية	تكييف متزن، عزل صوتي	BREEAM	استطلاع رأي وقياس حراري
5.4	المواد الصحية في البناء	دهانات غير سامة، سجاد عضوي	LEED	شهادات منتجات

البصمة الكربونية الإجمالية**Overall Carbon Footprint**

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
6.1	حساب الانبعاثات المباشرة وغير المباشرة	الطاقة، التنقل، النفايات	LEED, DGNB	برامج LCA و GHG Protocol
6.2	تحليل انبعاثات المواد المستخدمة	تقييم بصمة كل مادة مستخدمة	DGNB	تحليل EPD للمواد
6.3	تقليل الانبعاثات عبر المحتوى الرقمي	تقليل النقل، الطباعة، السفر	LEED	مقارنة كربونية تشغيلية
6.4	التزام مكتوب بخفض الانبعاثات	خطة خفض كربون سنوية	LEED	خطة تشغيل بيئي

الثقافة البيئية والهوية الثقافية

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
7.1	إدماج عناصر من التراث البيئي العربي	استخدام المشربيات، الأسقف المرتفعة، الحدائق التقليدية	DGNB	مراجعة تصميم معمارية
7.2	المحتوى الثقافي الأخضر	تطوير مقتنيات معرفية حول البيئة والتراث البيئي	DGNB	تحليل قاعدة البيانات
7.3	سرديات بيئية في الفعاليات الثقافية	تنظيم ندوات وأمسيات عن الاستدامة في التراث	DGNB	سجل الفعاليات

الشراكات والمشاركة المجتمعية

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
8.1	شراكات بيئية محلية	مع بلديات، مدارس، جمعيات بيئية	LEED, DGNB	وثائق تعاون
8.2	أنشطة مجتمعية تعليمية	ورش توعية بيئية، جلسات قراءة، زيارات مدرسية	BREEAM	سجل الأنشطة
8.3	إشراك المتطوعين	في التقييم البيئي، الفرز، الزراعة	EDGE	تقارير مشاركة مجتمعية

الاقتصاد الدائري Circular Economy

البند	المعيار المفصل	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
9,1	إعادة الاستخدام الداخلي للموارد	إعادة استخدام الأثاث، الورق، التجهيزات	DGNB, BREEAM	سجل الجرد وخطة إعادة الاستخدام
9,2	تبادل الموارد مع مؤسسات محلية	تبادل الكتب والأدوات الزائدة مع مكتبات أخرى أو مؤسسات تعليمية	EDGE, LEED	تقارير تبادل وبيانات استلام وتسليم
9,3	المشتريات الدائرية	شراء منتجات قابلة للتدوير/معادة التصنيع	DGNB, BREEAM	تحليل دورة حياة الموردين، شهادات اعتماد
9,4	التعاقد مع موردين يطبقون مبادئ الاقتصاد الدائري	تضمين شروط استدامة في العقود الشرائية	LEED, EDGE	مراجعة العقود ونسب الامتثال
9,5	البنية التحتية لإعادة التدوير	وجود محطات تصنيف وفرز متعددة المواد (ورق، إلكترونيات، عضوي)	LEED, BREEAM	نظام تتبع للنفايات، تقييم أداء شهري
9,6	البرامج التوعوية الداعمة للاقتصاد الدائري	أنشطة تعليمية حول إعادة الاستخدام وتقليل الفاقد	EDGE, DGNB	سجل الفعاليات، عدد المشاركين
9,7	نسبة المواد المعاد تدويرها ضمن النفايات الكلية	قياس الكمية المعاد تدويرها من الورق، البلاستيك، الإلكترونيات	LEED, DGNB	تقارير إدارة النفايات الشهرية

9,8	تكامل إعادة التدوير في المحتوى والخدمات	تقديم خدمات رقمية، إعادة تدوير الكتب، توزيع مواد توعية على ورق معاد تدويره	BREEAM	سجل الأنشطة ومشتريات الورق
9,9	عقود جمع النفايات مع شركات إعادة تدوير معتمدة	تعاون موثق مع شركات مؤهلة لإدارة النفايات	LEED, EDGE	نسخ العقود وسجلات التسليم

الابتكار البيئي والتقنيات الذكية **Environmental Innovation & Smart Technologies**

البند	*المعيار*	*الممارسات المقترحة*	*النظام المرجعي*	*أداة القياس*
10,1	تطبيق أنظمة الإدارة البيئية الذكية (EMS)	أنظمة مراقبة وتحكم في استهلاك الطاقة والمياه وجودة الهواء	LEED, EDGE	لوحة تحكم رقمية، تقارير الأداء الشهرية
10,2	استخدام إنترنت الأشياء(IoT)	مستشعرات ذكية للضوء، الحرارة، وعدد الزوار	DGNB, BREEAM	تحليل بيانات مستشعرات
10,3	التحليلات التنبؤية للصيانة	تنبيهات تلقائية للصيانة الوقائية	LEED	تقارير إدارة المرافق
10,4	منصة رقمية للمستفيدين	بوابة إلكترونية صديقة للبيئة لتقليل الطباعة وتسهيل الوصول	EDGE	سجل الاستخدام، رضا المستفيدين
10,5	الابتكار في الخدمات البيئية	تطبيقات جوال للتوعية البيئية، خرائط تفاعلية للخدمات الخضراء	LEED, DGNB	عدد المستخدمين، تقييم التأثير السلوكي
10,6	استخدام أدوات محاكاة الطاقة والضوء	برامج EnergyPlus أو Radianceلتحسين التصميم البيئي	DGNB	تقارير محاكاة وتصميم

إدارة النفاياتWaste Management

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
11,1	فصل النفايات من المصدر	توزيع حاويات متعددة لتصنيف الورق، البلاستيك، العضوي، الإلكترونيات	LEED, BREEAM	مسح بصري، سجلات جمع النفايات
11,2	مراقبة كمية النفايات المنتجة	تسجيل شهري لكميات النفايات الصلبة والسائلة	EDGE, DGNB	تقارير رقمية من شركة جمع النفايات
11,3	إعادة استخدام المخلفات المكتبية	إعادة تدوير الورق المستخدم، تحويل المواد غير الصالحة إلى منتجات جديدة	DGNB	توثيق داخلي، عقود إعادة تصنيع
11.4	برامج توعية حول تقليل النفايات	تنظيم ورش عمل وحملات إعلامية للموظفين والزوار	LEED, EDGE	عدد الأنشطة، مستوى المشاركة
11.5	التعاقد مع شركات متخصصة لإعادة التدوير	التأكد من أن الشركة تمتثل للمعايير البيئية المحلية والدولية	BREEAM, EDGE	نسخ العقود، تقارير الأداء السنوي
11.6	نظام تتبع النفايات	استخدام أدوات رقمية لرصد تدفقات النفايات واتجاهها	DGNB	منصة إلكترونية أو تطبيق تتبع

الشراكة الاجتماعية والمشاركة المجتمعية والمساحات المشتركة

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
12,1	بناء شراكات دائمة مع المجتمع المحلي	التعاون مع المدارس، البلديات، الجمعيات، الجامعات في مشاريع بيئية وثقافية	DGNB, LEED	مذكرات تفاهم، عدد الفعاليات المشتركة
12,2	تفعيل المشاركة المجتمعية	إشراك السكان المحليين والمستفيدين في تصميم وتنفيذ البرامج البيئية	BREEAM, EDGE	استبيانات رضا، تقارير مشاركة
12,3	تخصيص مساحات مشتركة متعددة الاستخدامات	توفير قاعات بيئية للورش، الندوات، والحلقات المجتمعية	DGNB	خطة توزيع المساحات، جدول الأنشطة
12,4	تقديم خدمات للمجتمعات المهمشة	أنشطة توعوية مخصصة لكبار السن، ذوي الإعاقة، وسكان المناطق الريفية	EDGE, LEED	تقارير استهداف الفئات، مستوى الوصول

12,5	تنظيم فعاليات ثقافية مستدامة	فعاليات بيئية/ثقافية مفتوحة للجمهور حول التراث والاستدامة	DGNB, BREEAM	سجل الفعاليات، عدد الحضور
12,5	الاستخدام التشاركي للمرافق	تمكين منظمات المجتمع المدني والمؤسسات التعليمية من استخدام المرافق خلال فترات غير الذروة	LEED	عقود الاستخدام، تقارير التنسيق

سلوك المستخدمين(User Behavior)

البند	المعيار	الممارسات المقترحة	النظام المرجعي	أداة القياس
13,1	تعزيز الثقافة البيئية لدى المستخدمين	تصميم حملات توعية بترشيد الطاقة والمياه، إعادة التدوير، تقليل الورق	LEED, DGNB	عدد الأنشطة، استبيانات قبل/بعد
13,2	سلوكيات التنقل المستدام	تشجيع الحضور باستخدام وسائل نقل منخفضة الانبعاث أو المشاركة في الركوب	EDGE, BREEAM	استبيانات الوصول، مراقبة حركة الزوار
13,3	الالتزام باستخدام الفضاءات المشتركة بشكل مستدام	قواعد استخدام بيئية للمرافق مثل قاعات الدراسة، المساحات المفتوحة	DGNB	ملاحظات المراقبة، تقارير الإدارة
13,4	مشاركة المستفيدين في التقييم البيئي	إشراك المستخدمين في تعبئة استبيانات دورية حول جودة الهواء، الإضاءة، الراحة	LEED O+M	معدل المشاركة، تحليل النتائج
13,5	تطوير سلوك استهلاك رقمي مستدام	توجيه المستفيدين لاستخدام المصادر الرقمية بدلاً من الطباعة	LEED, EDGE	نسبة التحول الرقمي، رضا المستخدمين

النضج البيئي

المجال	المعيار	الممارسات المقترحة	النموذج المرجعي	أداة القياس
14.1	المرونة المناخية والجاهزية للطوارئ	خطط الاستجابة لارتفاع درجات الحرارة، الفيضانات، العواصف الرملية	DGNB, BREEAM	خطة طوارئ، تقارير تقييم المخاطر
14.2	الاستدامة المالية والتمويل الأخضر	التقديم لصناديق دعم بيئي، تخصيص ميزانية خضراء	EDGE, IFC	وثائق تمويل، تقارير تنفيذ مشاريع

14.3	الصيانة المستدامة طويلة الأجل	وضع خطة صيانة للمرافق والأنظمة الخضراء	LEED O+M	جداول صيانة، سجل إصلاحات
14.4	التمكين البيئي للموظفين	تدريبات حول التشغيل الأخضر ومفاهيم الاستدامة	LEED, CILIP	تقارير حضور، تقييمات أداء
14.5	لوحة مؤشرات الأداء البيئي (Green KPIs)	مؤشرات مثل: الطاقة/م²، المياه/م²، عدد الفعاليات البيئية	جميع الأنظمة	لوحة قياس رقمية دورية

تفصيل مؤشرات الأداء البيئي + **(Green KPIs)** مؤشرات الصحة والعافية **(Health & Wellness Indicators)**

	المؤشر	***وصف المؤشر***	***وحدة القياس***	***التكرار***	***مصدر البيانات***
14.5.1	استهلاك الكهرباء	كمية الطاقة المستهلكة سنوياً	kWh/m²/year	شهري أو سنوي	عدادات الكهرباء / الفواتير
14.5.2	استهلاك المياه	كمية المياه المستخدمة سنوياً	L/m²/year	شهري أو ربع سنوي	عدادات المياه
14.5.3	نسبة إعادة التدوير	نسبة النفايات التي يتم إعادة تدويرها من إجمالي النفايات	%	شهري أو فصلي	تقارير إدارة النفايات
14.5.4	عدد الأنشطة البيئية المنفذة	عدد الورش، الندوات، أو الحملات ذات الطابع البيئي	عدد	فصلي	سجلات الفعاليات / إدارة البرامج
14.5.5	نسبة الورق المعاد تدويره	نسبة استخدام الورق المعاد تدويره في الطباعة الداخلية	%	نصف سنوي	سجلات المشتريات
14.5.6	نسبة المواد الرقمية	نسبة المصادر الرقمية من إجمالي مجموعات المكتبة	%	سنوي	نظام إدارة المحتوى / الفهرس الإلكتروني

14.5.7	انبعاثات الكربون الكلية	انبعاثات CO_2 الناتجة عن الطاقة والنقل والخدمات	kg $CO_2e/m^2/year$	سنوي	حاسبة البصمة الكربونية
14.5.8	رضا المستخدمين البيئي	نسبة رضا المستفيدين حول البيئة الداخلية والخدمات الخضراء	%	سنوي	استبيانات إلكترونية
14.5.9	مؤشرات الترشيد في التشغيل	عدد المبادرات / الحلول التي تم تطبيقها لتقليل الهدر	عدد	سنوي	تقارير الإدارة التشغيلية
14.5.10	جودة الهواء الداخلي	نسبة الامتثال لمستويات CO_2 و VOCوفق المعايير الصحية	ppm, $\mu g/m^3$	شهري	أجهزة مراقبة بيئية
14.5.11	مستوى الإضاءة الطبيعية	نسبة المساحات المعتمدة على الإضاءة الطبيعية	%	نصف سنوي	مسح بصري / تصميم معماري
14.5.12	الراحة الحرارية والصوتية	نسبة رضا المستخدمين عن درجة الحرارة والضجيج	%	سنوي	استبيانات المستخدمين
14.5.13	استخدام الأثاث والمواد الصحية	نسبة الأثاث غير السام والمعتمد بيئياً	%	سنوي	وثائق الشراء وشهادات المواد
14.5.14	وجود مساحات للراحة والصحة النفسية	توفر مناطق هادئة أو خضراء للقراءة والتأمل	نعم / لا	سنوي	خطة التوزيع المعماري
14.5.15	أنشطة تعزز الصحة العامة	عدد الفعاليات المرتبطة بالصحة، الاسترخاء، أو التغذية	عدد	نصف سنوي	تقارير النشاط المجتمعي

ربط الاستدامة بالهوية الثقافية(Cultural Integration of Sustainability)

تُعد الهوية الثقافية جزءاً لا يتجزأ من نجاح تطبيق الاستدامة البيئية في العالم العربي. ويهدف هذا البند إلى ترسيخ الاستدامة كقيمة متجذرة في الموروث الثقافي والمعماري والمعرفي.

البند	*المعيار*	*الممارسات المقترحة*	*النظام المرجعي*	*أداة القياس*
15,1	دمج العمارة التقليدية المستدامة	استخدام عناصر مثل المشربيات، الأسقف العالية، الساحات الداخلية لخفض الحرارة وتوفير الإضاءة الطبيعية	DGNB, LEED	تحليل تصميمي ومعماري
15,2	إبراز البيئة في التراث الثقافي العربي	تنظيم معارض وفعاليات بعنوان "البيئة في التراث العربي" أو "الاستدامة في الحضارة الإسلامية"	DGNB	خطة الأنشطة، عدد الفعاليات والحضور
15,3	توظيف الأمثال والقصص الشعبية في التوعية البيئية	تضمين محتوى توعوي بالاستعانة بالموروث الشعبي لتعزيز الرسائل البيئية	محلي	دليل المحتوى الثقافي، أدوات التواصل
15,4	استخدام اللغة المحلية والرموز التراثية	تصميم الرسائل البيئية واللوحات الإرشادية بلغة وهوية المجتمع المحلي	LEED O+M	مراجعة لغوية بصرية، استبيان مدى الفهم
15,5	الشراكة مع مؤسسات ثقافية وفنية	تعاون مع متاحف، جمعيات تراثية، أو فنانين محليين لتمثيل الاستدامة فنياً وثقافياً	DGNB	مذكرات تعاون، توثيق النشاط المشترك

نظام الاعتماد البيئي للمكتبة الخضراء (نموذج النقاط)

المستوى	***عدد المكتسبة***	***النقاط***	***التوصيف***
المستوى الذهبي	100 – 85نقطة		مكتبة متكاملة بيئياً، رائدة في تطبيق الاستدامة وذات أثر مجتمعي واضح
المستوى الفضي	84 – 70نقطة		مكتبة متقدمة، تطبّق غالبية المعايير ولديها بنية بيئية فعالة
المستوى البرونزي	69 – 50نقطة		مكتبة ناشئة، بدأت في مسار التحول البيئي وتطبق الأساسيات
غير معتمد	أقل من ٥٠ نقطة		تحتاج المكتبة إلى خطة تحسين عاجلة ومسار تدريجي للتحول

- يُمنح لكل معيار من المعايير السابقة عدد محدد من النقاط (من ١ إلى ٥ نقاط)
- يتم التقييم من خلال لجنة أو جهة اعتماد وطنية أو إقليمية
- تُراجع النقاط دورياً مع تحديثات الأداء والتقارير التشغيلية

الجدولة الزمنية للتطبيق المرحلي

المرحلة	نطاق العمل	الموارد المطلوبة	المدة الزمنية	المخرجات
المرحلة 1	تحسينات منخفضة الكلفة	إضاءةLED ، حملات توعية، تقليل الورق	3–6أشهر	جاهزية أولية
المرحلة 2	دمج متوسط	شراكات، تصميم طبيعي، أجهزة موفرة	6–12شهراً	مكتبة خضراء ناشئة
المرحلة 3	تطبيق شامل متكامل	طاقة شمسية، أنظمة ذكية، اعتماد مؤسسي	12–24 شهراً	مكتبة خضراء معتمدة

مراجع الكتاب:

أبوعيد، عماد. (٢٠٢٣). نحو مكتبات خضراء لتحفيز الاستدامة وتمكين المجتمعات. *المجلة العربية للأرشيف والتوثيق والمعلومات*، ٢٧ (53)

الإمارات اليوم. (2023). *مكتبة محمد بن راشد.. عالم من المعرفة الخضراء*. https://www.emaratalyoum.com/local-section/other/2023-11-30-1.1804409

حاتم، مها محمد لؤي. (2020). *المكتبات الخضراء ودورها في مواجهة تحديات الاستدامة البيئية: دراسة تحليلية مقارنة*. المجلة الدولية لعلوم المكتبات والمعلومات، ٧(٢)، ١٣٩–١٧١. http://search.mandumah.com/Record/1073750

حمدي، أمل وجيه. (2024). *من المكتبات الخضراء إلى الوظائف الخضراء*. مجلة بحوث في علم المكتبات والمعلومات، (٣٣)، ٧–٨. http://search.mandumah.com/Record/1546263

دموش، أوسامة، وكادي، زين الدين. (2019). *إنشاء وتصميم مكتبات الفضاء الثالث في المجتمعات العربية: مقاربة ثقافية لمفهوم التنمية المستدامة*. المجلة الأردنية للمكتبات والمعلومات، ٥٤(٣)، ١١–٥٥. http://search.mandumah.com/Record/1017933

دياب، مفتاح محمد. (2024). *المكتبات الخضراء والاستدامة البيئية*. المجلة السعودية لدراسات المكتبات والمعلومات، ٤(٤)، ١٨٥-٢٢٣. http://search.mandumah.com/Record/1463096

قصيبي، أحمد. (2019)المكتبة الخضراء المبنية على المعيارية وأجندة ٢٠٣٠. *المجلة المغاربية للتوثيق والمعلومات*، العدد ٢٦، ص. ٦٣-٨٢. متاح على: http://www.revue-uma.rnu.tn/index.php/RMDI/article/view/297

سدوس، رميساء. (2023). *المكتبات الخضراء طريق لدعم وتعزيز خطة التنمية المستدامة لعام ٢٠٣٠: مكتبة جامعة Rangist أنموذجا*. مجلة أنسنة للبحوث والدراسات، ١٤(٢)، ١٥٧–١٧٦. http://search.mandumah.com/Record/1479877

شاهين، شريف كامل محمود. (2024). *نحو مقياس متكامل للتحول نحو البيئة الخضراء في المكتبات*. المجلة العربية للمعلوماتية وأمن المعلومات، ١٧، ١-٥٤. https://jinfo.journals.ekb.eg/article_388776.html

شباحي، م.، & صابور، س. (٢٠٢٠). المكتبات الخضراء. مجلة علم المكتبات، ١٢(١)، ٦٤-٨٦.

شبلحي، مهدي، وصابور، سعيدة. (2020). *المكتبات الخضراء ودورها في التنمية المستدامة*. مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية، ٥٨(٤)، ٧٧–٩٨. استرجع من https://asjp.cerist.dz/en/article/120121

شتا، ابتسام عبد السلام علي .(2022). *المكتبات العامة في مصر والتنمية المستدامة: دراسة تحليلية*. حولية كلية اللغة العربية بالمنوفية، ٣٧(٢)، ٢٧٥٦–٢٨٥٠ .
http://search.mandumah.com/Record/1353412

الطائي، جعفر حسن جاسم. (٢٠٢٣). دراسة إمكانية التحول إلى المكتبات الخضراء: المكتبة المركزية لجامعة ديالى أنموذجاً. *مجلة آداب المستنصرية*، ١٠٤ ، ٨٣٦ –864.
http://search.mandumah.com/Record/1546280

عوض، آمال خليل .(2024) *تكنولوجيا المكتبات الخضراء: تجارب مكتبات عالمية أنموذجاً*. أوراق ثقافية: مجلة الآداب والعلوم الإنسانية، ٦(٣٣)، ٦٥٠–٦٦٣ .
http://search.mandumah.com/Record/1532900

واحد، أحمد لامية .(2022). *المكتبات الخضراء: نمط جديد في تصميم وإنشاء مباني المكتبات* . المجلة الجزائرية للمكتبات والمعلومات، ٩(١)، ٣٣–٥٨.
https://asjp.cerist.dz/en/article/207541

المراجع الأجنبية:

Abdel-Latif, A. (2008). The rise of public–private partnerships in green technologies and the role of intellectual property rights. In *Intellectual Property and Sustainable Development* (pp. 223–244). https://doi.org/10.1017/9781316809587.014

Abulude, F. O. (2023). *Enhancing Indoor Air Quality in Library Environments: Strategies and Recommendations*. ResearchGate. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/379078793_Enhancing_Indoor_Air_Quality_in_Library_Environments_Strategies_and_Recommendations(ResearchGate)

Acosta, I., Campano, M., Domínguez-Amarillo, S., & Casas, J. N. (2023). *Continuous Overcast Daylight Autonomy (DAo.con): A New Dynamic Metric for Sensor-Less Lighting Smart Controls*. LEUKOS, 19(3), 343–367. https://doi.org/10.1080/15502724.2022.2135528

AESG. (2025). *Sustainability Case Study: Mohammed Bin Rashid Library, Dubai*. Arab Environmental Solutions Group.

AESG. (2025). *Mohammed Bin Rashid Library*. https://aesg.com/portfolio-item/mohammed-bin-rashid-library/

Aggarwal, S., Chaudhary, R., Aujla, G. S., Kumar, N., Choo, K. K. R., & Zomaya, A. Y. (2019). Blockchain for smart communities: Applications, challenges and opportunities. ***Journal of Network and Computer Applications*****,** ***144*****, 13-48.**

Aguilar, J., Garces-Jimenez, A., R-moreno, M. D., & García, R. (2021). A systematic literature review on the use of artificial intelligence in energy self-management in smart buildings. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews, 151*****, 111530.**

Ahmed Al-Luhaibi, S. M., & Mohmmed, G. (2024). ***Designing Intelligent Library as a Response for Artificial Intelligence*****. International Journal of Research and Scientific Innovation. https://doi.org/10.51244/ijrsi.2024.1114sdaico1**

Ahmed, S., Akhtar, F., Saharan, K., Soomro, M., Ahmed, A., Memon, A., & Ghaffar, A. (2025). Artificial intelligence (AI) in libraries. ***The Critical Review of Social Sciences Studies*****.**

Ajani, Y. A., Muhammed, R. B., Oladokun, B. D., Folami, S. O., & Onyebinama, C. O. (2024). The green library advocacy: Need to engage the international communities in a climate change action. ***Business Information Review, 41*****(3), 141-147.**

Akhtar, S., bin Sujod, M. Z., & Rizvi, S. S. H. (2021, October). A Novel Deep Learning Architecture for Data-Driven Energy Efficiency Management (D2EEM)-Systematic Survey. In ***2021 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)*** **(pp. 1-6). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICEET53442.2021.9659737**

ALA-SLI. (n.d.). ***The National Climate Action Strategy for Libraries Implementation Guide*****. https://www.sustainablelibrariesinitiative.org/**

Alfalouji, Q., Schranz, T., Falay, B., Wilfling, S., Exenberger, J., Mattausch, T., et al. (2023). Co-simulation for buildings and smart energy systems — a taxonomic review. ***Simul. Model. Pract. Theory*** **126, 102770. doi:10.1016/j.simpat.2023.102770**

Alhamed, M., Alsulami, T., & Alzahrani, F. (2022). ***Environmental control strategies for library sustainability. Library Management Review*****, 43(4), 259–273.**

Alhendi, A. A., Al-Sumaiti, A. S., Elmay, F. K., Wescaot, J., Kavousi-Fard, A., Heydarian-Forushani, E., & Alhelou, H. H. (2022). Artificial intelligence for water–energy nexus demand forecasting: a review. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *17*, 730-744.

Alketbi, A., Nasir, Q., & Talib, M. A. (2018, February). Blockchain for government services—Use cases, security benefits and challenges. In *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)* (pp. 112-119). IEEE.

AlMuharraqi, M., Sweis, G., Sweis, R., & Sammour, F. (2022). Factors affecting the adoption of smart building projects in the Kingdom of Bahrain. *Journal of Building Engineering*, *62*, 105325.

Alshamsi, H. O., Alshehhi, M. A., & Sakhrieh, A. (2022). Adaptability to green building regulations in oil-producing countries: Obstacles and solutions. *International Journal of Energy Economics and Policy, 12*(2), 149–153. https://doi.org/10.32479/ijeep.12683

Alsolami, B. M. (2022). Identifying and assessing critical success factors of value management implementation in Saudi Arabia building construction industry. *Ain Shams Eng. J.* 13 (6), 101804. doi:10.1016/j.asej.2022.101804

American Library Association – Sustainability Round Table. (n.d.). *Sustainable Library Initiative*. Retrieved from https://www.ala.org/rt/sustainability

Ameur, D., & Kadi, Z. (2023). The Green Library Project in Algeria. *International Journal of Social Communication*, 10(3), 36–53.

Anand, P., Sekhar, C., Cheong, D., Santamouris, M., & Kondepudi, S. (2019). Occupancy-based zone-level VAV system control implications on thermal comfort, ventilation, indoor air quality and building energy efficiency. *Energy and Buildings*, 204, 109473.

Anand, S., Rashid, M., & Goh, K. C. (2019). *Biophilic design in libraries: The case of the National University of Singapore (NUS) Central Library*. *Journal of Sustainable Architecture and Design*, 7(1), 35–42.

Anand, S., Rashid, M., Tan, A. H. T., & Anggono, J. (2019). The zero-energy library: A sustainable building design case study. *Journal of Green Building*, 14(2), 53–68.

Anjos, D., Carreira, P., & Francisco, A. P. (2014, June). Real-time integration of building energy data. In *2014 IEEE International Congress on Big Data* (pp. 250-257). IEEE. https://doi.org/10.1109/BIGDATA.CONGRESS.2014.44

Arab League Educational, Cultural and Scientific Organization (ALECSO). (2022). *Statistical Bulletin No. 8: Scientific Research in the Arab Countries (Compared to Other Regions of the World)*. Tunis: ALECSO. https://www.alecso.org

Arensbach, S. D. (2023). Re-designing public–private partnerships: Case study – Green Hydrogen Hub, Denmark. *Journal of Design, Business & Society*. https://doi.org/10.1386/dbs_00053_1

Arias, C. (2011). The Two Sides of Green: Successful Partnerships Between Corporations and Nonprofits. Sustainability: The Journal of Record, 4(3), 117-120.

Arnott, J. C., & Lemos, M. C. (2021). Understanding knowledge use for sustainability. Environmental Science and Policy, 120, 222–230. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.02.016

Arsene, D., Predescu, A., Pahonțu, B., Chiru, C. G., Apostol, E. S., & Truică, C. O. (2022). Advanced strategies for monitoring water consumption patterns in households based on IoT and machine learning. *Water*, *14*(14), 2187.

Arzova, B., S¸ahin, B.S¸ .,(2024). The impact of financial development and innovation on green growth: an empirical investigation on emerging countries. Account. Financ. Sustain. Gov. Fraud. Part F2403. https://doi.org/10.1007/978-981-99-9145-7_13.

Ashraf, T. (2022). Digital Water: An Analysis of EU and US Digital Water Initiatives in Africa. In *Africa–Europe Cooperation and Digital Transformation* (pp. 116-129). Routledge.

Asif, R., Hassan, S. R., & Parr, G. (2023). Integrating a blockchain-based governance framework for responsible AI. *Future Internet*, *15*(3), 97.

Aslam, S., Jabeen, M., & Jabeen, M. (2025). Fostering innovation in smart library services: An in-depth exploration of empowered capabilities and dynamic strategies among university librarians in Pakistan. ***Information Development,*** **02666669241305379. https://doi.org/10.1177/02666669241305379**

Atelier Pagnamenta Torriani, Ghoussainy, B., & RELK. (2024). ***J.G. Jabbra Library and R. Nassar Central Administration*****. Divisare. https://divisare.com/projects/499127-atelier-pagnamenta-torriani-architects-bahaa-ghoussainy-j-g-jabbra-library-and-r-nassar-central-administration**

Aulisio, G. J. (2013). Green libraries are more than just buildings. Electronic green journal, 1(35).

Awogbami, P. A., Opele, J. K., & Adeoye, R. A. (2021). Staff development program and service delivery in academic library: Implication for knowledge management in the University of Lagos, Nigeria. ***Global Journal of Applied, Management and Social Sciences (GOJAMSS), 21,*** **273-279.**

Ayala-Mora, J., -Infante-Moro, A., Infante-Moro, J.C.,(2023). Electronic administration in the Council of the Judiciary of Ecuador [La administracion ´ electronica ´ en el Consejo de la Judicatura de Ecuador]. RISTI - Rev. Ib. Sist. Tecnol. Inf. ç˜ ao 2023(E60), 511–523

Ayan, O., & Turkay, B. (2018). ***Smart thermostats for home automation systems and energy savings*****. 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT), 1–6. https://doi.org/10.1109/CEIT.2018.8751790**

Aytac, S. (2017). Library environment sustainability progress index (LESPI): Benchmarking libraries' progress towards sustainable development.

Bäckstrand, K. (2010). From rhetoric to practice: The legitimacy of global public-private partnerships for sustainable development. In ***Environmental Politics and Deliberative Democracy*** **(pp. 145–166). https://doi.org/10.1057/9780230283237_8**

Caloffi, A., Pryke, S., Sedita, S., & Siemiatycki, M. (2017). Public–private partnerships and beyond: Potential for innovation and sustainable development.

Environment and Planning C: Politics and Space, 35(5), 739–745. https://doi.org/10.1177/2399654417711496

Barroso, S., Bustos, P., & Núñez, P. (2023). Towards a cyber-physical system for sustainable and smart building: a use case for optimising water consumption on a smartcampus. ***Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing****,* ***14*****(5), 6379-6399.**

Beka, A., Alili, H. A., & Atanasovska-Noveski, V. (2024). Relationship between renewable energy, technological innovation, and economic indicators of green growth: Comparative analysis of the OECD and Western Balkan Regions. Multidisciplinary Science Journal, 6(12), 2024265-2024265.

Belani, D., Makwana, A. H., Pitroda, J., & Vyas, C. M. (2014). Intelligent building new era of todays world. ***Proceedings of the Trends and Challenges of Civil Engineering in Todays Transforming World, Surat, India, 17*****.**

Bibri, S. E. (2021). Data-driven smart eco-cities and sustainable integrated districts: A best-evidence synthesis approach to an extensive literature review. ***European Journal of Futures Research****,* ***9*****(1), 16.**

Bikam, P. (2021). Technology innovations in green transport. In B. Ndulu, R. Hartwig, & L. Zulu (Eds.), Green Economy in the Transport Sector (pp. 43–62). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86178-0_4

Bindajam, Ahmed & Al-Ansi, N. (2019) Economic Diversity by Sustaining Historical Buildings: King Abdul Aziz Palace, as a Case Study. Environment-Behaviour Proceedings Journal 4(10). DOI:10.21834/e-bpj.v4i10.1556. See more at: https://www.researchgate.net/publication/330659093

Boeva, B., Vassileva, A., Pavlova, V., Stoychev, I. & Zhivkova, S. (2015). Changes in International Business Operations within the Global Efforts for Environmental Protection, Ikonomiceski i Sotsialni Alternativi, University of National and World Economy, Sofia, Bulgaria, issue 4, 1-16. Available at: https://www.unwe.bg/uploads/Alternatives/1-br4-2015.pdf

Bonenberg, A., & Wlazły, W. (2023). Oculographic study on greenery in interiors of publc libraries. ***Przestrzeń i Forma*****.**

Boubouh, K., Basmadjian, R., Ardakanian, O., Maurer, A., & Guerraoui, R. (2023). Efficacy of temporal and spatial abstraction for training accurate

machine learning models: A case study in smart thermostats. ***Energy and Buildings, 296*****.** **https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113377**

Bradley, F. (2022). Representation of libraries in artificial intelligence regulations and implications for ethics and practice. ***Journal of the Australian Library and Information Association*****,** ***71*****(3), 189-200.**

BRE Global. (2013). ***BREEAM In-Use*****. BRE Group. https://files.bregroup.com/bre-co-uk-file-library-copy/filelibrary/pdf/Brochures/BREEAM_In-Use.pdf**

BRE Global. (2021). ***BREEAM International New Construction – Technical Manual v6.0*****. https://breeam.com**

BREEAM Accredited Professional. (2023, September 25). ***Stage 4 design stage report: Burger King Shell Unit, 572 London Road, Camberley, GU15 3UP*** **[PDF]. https://docs.planning.org.uk/20231011/99/S2D2BAPRMAJ00/bcadzn0a6fwj53w7.pdf**

Brodie, M. (2012). Building the sustainable library at Macquarie University. Australian Academic & Research Libraries, 43(1), 4-16.

Bychkova, E. F., Klimova, M. A., & Silaeva, S. N. (2023). IFLA and Sustainable Development Goals: Reviewing the projects by IFLA Environment, Sustainability and Libraries Section. ***Scientific and Technical Libraries, 1,*** **33-50.**

Calgary Public Library. (2021). ***LEED Gold Certification – Calgary Central Library*****. Retrieved from https://www.calgarylibrary.ca/library-news/leed-gold-certification/**

Canada.ca. (2024, July). ***Improving energy efficiency at Vancouver's iconic Central Library*****. Government of Canada. https://www.canada.ca/en/housing-infrastructure-communities/news/2024/07/improving-energy-efficiency-at-vancouvers-iconic-central-library.html**

Carli, R., Cavone, G., Othman, S., & Dotoli, M. (2020). ***IoT based architecture for model predictive control of HVAC systems in smart buildings*****.** ***Sensors*****, 20(3), 781. https://doi.org/10.3390/s20030781**

Carr, M. M. (2013). ***The green library planner: What every librarian needs to know before starting to build or renovate*****. Scarecrow Press. https://www.ebsco.com/terms-of-use**

Chellaney, B. (2011). Water: Asia's new battleground. Georgetown University Press

CILIP. (n.d.). ***Green Libraries Training*****. The Library and Information Association. https://www.cilip.org.uk/page/greenlibrariestraining**

Cirella, G., Bąk, M., Koźlak, A., Pawłowska, B., & Borkowski, P. (2019). Transport innovations for elderly people. Research in Transportation Business & Management, 100381. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100381

Clark, W. C., Van Kerkhoff, L., Lebel, L., & Gallopin, G. C. (2016). Crafting usable knowledge for sustainable development. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113(17), 4570–4578. https://doi.org/10.1073/pnas.1601266113

Constitute Project. (2014). ***Constitution of the Tunisian Republic (2014)*** **[Article 45]. Retrieved from https://www.constituteproject.org/constitution/Tunisia_2014**

Cook, S., & Smith, K. (2012). Introduction: Green economy and sustainable development. ***Development,*** **55(1), 5–9. https://doi.org/10.1057/dev.2011.100**

Crespi, F., Mazzanti, M., Managi, S., (2016). Green growth, eco-innovation and sustainable transitions. Environ. Econ. Policy Stud. 18 (2), 137–141. https://doi.org/10.1007/ s10018-016-0141-x

Cullen, J., Mähönen, J., & Nilsen, H. R. (2020). Financing the transition to sustainability: SMART reform proposals. ***University of Oslo Faculty of Law Research Paper*****, (2020-10), 20-09. https://doi.org/10.2139/ssrn.3594433**

David, D., & Venkatachalam, A. (2018). A comparative study on the role of public–private partnerships and green investment banks in boosting low-

carbon investments. In *Handbook of Green Finance*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8710-3_25-1

Davies, A. R., & Mullin, S. (2011). Greening the economy: Interrogating sustainability innovations. *Journal of Economic Geography*, 11(5), 793–816. https://doi.org/10.1093/jeg/lbq046

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). (2014). *DGNB System: Excellence Defined*. https://www.dgnb.de

Devi, S., Gupta, D. K., & Arahova, A. (2024). IFLA's role in mobilizing libraries towards achieving the Sustainable Development Goals: A review. IFLA journal, 50(3), 644-656.

Dewi, N. F., Ardian, F., Alif, N., & Hwihanus. (2024). Green economy: Innovations and challenges. *JIMU: Jurnal Ilmiah Multidisipliner*, [volume/issue/pages missing – please provide if needed].

DGNB. (2012). SeeCampus Niederlausitz Public Building. https://www.dgnb-system.de/en/projects/

Djamila, A., & Zineeddine, K. (2023). *The Green Library Project in Algeria*. International Journal of Social Communication, 10(3), 36–53. http://search.mandumah.com/Record/1433085

Doorn, N. (2021). Artificial intelligence in the water domain: Opportunities for responsible use. *Science of the Total Environment, 755*, 142561.

Eaton, D. (2013). Technology and innovation for a green economy. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 22(1), 62–67. https://doi.org/10.1111/reel.12018

Ejidike, C. C., & Mewomo, M. C. (2023). Benefits of adopting smart building technologies in building construction of developing countries: Review of literature. *SN Applied Sciences, 5*(2), 52.

El-Motasem, S., Khodeir, L. M., & Eid, A. F. (2021). Analysis of challenges facing smart buildings projects in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, *12*(3), 3317-3329.

Elnaklah, R., Alotaibi, B. S., Elbellahy, S., & Abuhussain, M. A. (2025). Perspectives on sustainable construction in the Middle East: A comparative

analysis of industry and academia. *Sustainability, 17*(1), 4. https://doi.org/10.3390/su17010004

Fang, B., Yu, J., Chen, Z., Osman, A. I., Farghali, M., Ihara, I., Hamza, E. H., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2023). Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review. In Environmental Chemistry Letters (Vol. 21, Issue 4). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3

Farjana, S. H., Mahmud, M. P., & Huda, N. (2021). *Life cycle assessment for sustainable mining*. Elsevier.

Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). *Artificial Intelligence Evolution in Smart Buildings for Energy Efficiency*. Applied Sciences, 11(2), 763. https://doi.org/10.3390/APP11020763

Fedorowicz-Kruszewska, M. (2021). Green libraries and green librarianship–Towards conceptualization. *Journal of librarianship and information science*, 53(4), 645-654.

Feng, Z., Ge, M., & Meng, Q. (2024). Enhancing energy efficiency in green buildings through artificial intelligence. *Frontiers in Science and Engineering*. https://doi.org/10.54691/py2h2y60

Feola, G. (2015). Societal transformation in response to global environmental change: A review of emerging concepts. *Ambio*, *44*(5), 376-390.

Ferreira, A., Pinheiro, M. D., Brito, J. D., & Mateus, R. (2023). A critical analysis of LEED, BREEAM and DGNB as sustainability assessment methods for retail buildings. *Journal of Building Engineering, 66*, Article 105825. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105825

Ferreira, J. J., Lopes, J. M., Gomes, S., & Dias, C. (2023). Diverging or converging to a green world? Impact of green growth measures on countries' economic performance. *Environment, Development and Sustainability*, 1-19.

Flammer, C., (2021). Corporate green bonds. J. Financ. Econ. 142 (2), 499–516. https:// doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.03.004.

Fulton County Government. (2020). LEED Gold Certification for East Point and Fairburn Libraries. https://www.fultoncountyga.gov/

Fulton County Government. (2020, January 27). *Fulton County Libraries Receive LEED GOLD Certification*. Fulton County News. https://www.fultoncountyga.gov/news/2020/01/27/fulton-county-libraries-receive-leed-gold-certification

Gajbhiya,C,K,.(2024). Green Libraries and Sustainability Initiative. International Journal of Innovative Science and Research Technology9(12).1-6

Gardiner, A., Bardout, M., Grossi, F. & Dixson-Declève, S. (2015). Public-Private Partnerships for Climate Finance, Nordic Council of Ministers. Available at: https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:915864/FULLTEXT01.pdf

GBCI. (n.d.). *Guide to EDGE Certification*. Retrieved from EDGE Certification page, GBCI. (edge.gbci.org)

Genovese, P., & Albanese, P. (2015). Sustainability can serve as a tool to build a community. IFLA Publications 161. In: the 77th IFLA Conference in San Juan, Puerto Rico, 13–18 Aug 2011. https://edoc.hu-berlin.de/server/api/core/bitstreams/51d85f46-df77-48a1-ac26-316b98bfc822/content

GEZE GmbH. (2024). *Kö-Bogen II sustainable building case study*. https://www.geze.com/en/discover/casestudies/dgnb-certifications-for-koe-bogen

Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., AlWaer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., & Clements-Croome, D. (2016). What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective. *Architectural Science Review*, *59*(5), 338-357.

Ghansah, F. A., Owusu-Manu, D. G., & Ayarkwa, J. (2021). Project management processes in the adoption of smart building technologies: a systematic review of constraints. *Smart and Sustainable Built Environment*, *10*(2), 208-226.

Gigauri, I., Palazzo, M., Siano, A., (2024). Examining the market potential for smart intelligent packaging: a focus on Italian consumers. Virtual Econ. 7 (2), 89–116. https://doi.org/10.34021/ve.2024.07.02(5)

Global. (2013). *BREEAM In-Use*. BRE Group. https://files.bregroup.com/bre-co-uk-file-library-copy/filelibrary/pdf/Brochures/BREEAM_In-Use.pdf

Godo, S., Matsui, K., & Nishi, H. (2014). *Cost-effective air conditioning control considering comfort level and user location*. In *IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 5344–5349). https://doi.org/10.1109/IECON.2014.7049316

Goel, R., & Kumar, S. (2023). Green building standards for libraries: A LEED-based evaluation framework. *Journal of Sustainable Architecture*, 11(2), 56–71.

Goel, S., & Kumar, S. (2023). Has the Green Library Movement made sufficient progress in India? An initial analysis of web information. *International Journal of Information Dissemination and Technology*, 13(3), 105–110. https://doi.org/10.5958/2249-5576.2023.00020.1

Green Building Council, Inc. (2025). https://www.usgbc.org/leed

Grin J, Rotmans J, Schot J ,.(2010). Transitions to sustainable development: New directions in the study of long term transformative change. Routledge, New York

Gul, S., & Bano, S. (2019). Smart libraries: an emerging and innovative technological habitat of 21st century. *The Electronic Library, 37*(5), 764-783.

Gupta, V., & Gupta, C. (2023a). Synchronizing innovation: unveiling the synergy of need-based and curiosity-based experimentation in AI technology adoption for libraries. *Library Hi Tech News, 40*(9), 15-17.

Gupta, V., & Gupta, C. (2023b). Leveraging AI technologies in libraries through experimentation-driven frameworks. *Internet Reference Services Quarterly, 27*(4), 211-222.

Gupta, V., & Gupta, C. (2023c). Experimentation-driven frameworks for AI technology adoption in libraries: Practical implementation in the library. *College & Undergraduate Libraries*, *30*(3), 95-103.

Hamad, F., Al-Fadel, M., & Fakhouri, H. (2022). The provision of smart service at academic libraries and associated challenges. *Journal of Librarianship and Information Science*. https://doi.org/10.1177/09610006221114173

Harangoz, G., & Zilahy, G. (2015). Cooperation Between Business and Non-Governmental Organizations to Promote Sustainable Development. Journal of Cleaner Production, 89, 18- 31.

Hauke, P. (2015). How to become/How to identify a Green Library? Standards for Certification.

Hauke, P., Latimer, K., & Niess, R. (2021). *Going Green: Implementing Sustainable Strategies in Libraries Around the World*. IFLA ENSULIB Section. https://www.ifla.org/news/to-plan-and-develop-a-green-and-sustainable-library-with-the-ifla-ensulib-section/(ifla.org)

Hauke, P., Mocatta, A., & Pun, P. (2025). *IFLA guidelines for green and sustainable libraries* (1st draft, February 2025). IFLA Environment, Sustainability and Libraries Section (ENSULIB). https://www.ifla.org/wp-content/uploads/GuidelinesGreenLibs_draft_3.15-rev-PH.pdf

Hazelton, L., & Gillin, L. (2017). From compliance culture in elder care to resident focus innovation as social entrepreneurship – A global opportunity. In Social Innovation and Entrepreneurship in the Fourth Sector (pp. 3–23). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50008-9_1

Henry B, Murphy B, Cowie A (2018). Sustainable land management for environmental benefits and food security: A synthesis report for the GEF. https://stapgef.org/sites/default/files/publications/SLM-Henry_Murphy_Cowie.pdf.

Higuera, J., Hertog, W., Peralvarez, M., & Carreras, J. (2014). *Hybrid smart lighting and climate control system for buildings*. https://doi.org/10.1049/IC.2014.0047

Himeur, Y., Elnour, M., Fadli, F., Meskin, N., Petri, I., Rezgui, Y., ... & Amira, A. (2023). AI-big data analytics for building automation and management systems: a survey, actual challenges and future perspectives. *Artificial Intelligence Review*, *56*(6), 4929-5021.

Holroyd, C.,(2018). Green Japan: environmental technologies, innovation policy, and the pursuit of green growth. In: Green Japan: Environmental Technologies, Innovation Policy, and the Pursuit of Green Growth.

Hongo, T. (2016), Circular Economy Potential and Public–Private Partnership Models in Japan, In Anbumozhi, V. and J. Kim (eds.), Towards a Circular Economy: Corporate Management and poliy pathways.ERIA Research project Report 2014-44,Jakarta,Indonesia,17-29.Available at: https://www.eria.org/RPR_FY2014_Chapter_2.pdf.

Horner, L., & Smith, J. (2020). Waste not, want not: Libraries leading the way in sustainability. Journal of Sustainable Library Practices, 12(1), 45-58. https://doi.org/10.1021/jslp.2020.00578

Hossain, Z. (2025). School librarians developing AI literacy for an AI-driven future: leveraging the AI Citizenship Framework with scope and sequence. *Library Hi Tech News*, *42*(2), 17-21.

House of Wisdom. (2023). *About*. https://houseofwisdom.ae/about

Hussin, N., & Hafit, A. (2018). Green technology: Awareness among academic library employees. *DEVELOPMENT*, *7*(3).

IFC. (2022). *Safiya Homes – Pakistan*. EDGE Buildings. https://edge.gbci.org/project-profile/safiya-homes-pakistan

IFLA. (2021). *IFLA and the UN Sustainable Development Goals (SDGs)*. https://www.ifla.org/publications/node/10546

IFLA. (n.d). *Green libraries and social responsibility: The role of libraries in environmental awareness*. https://www.ifla.org/environment-sustainability/

IFLA. (2024). *9th IFLA Green Library Award 2024 Results*. https://www.ifla.org/news/9th-ifla-green-library-award-2024-results/

IFLA. (n.d.). ***Environment, sustainability and libraries*****. Retrieved [date you accessed it], from https://www.ifla.org/units/environment-sustainability-and-libraries/**

Ingenhoven Architects. (2022). Kö-Bogen II – Düsseldorf, Germany. https://www.ingenhovenarchitects.com/project/koe-bogen-ii

International Federation of Library Associations and Institutions (IFLA). (2023, November). ***IFLA Green Library Award: Evaluation criteria*** **[PDF]. https://www.ifla.org/wp-content/uploads/Award-2024-Criteria-final.pdf**

International Finance Corporation [IFC]. (2020). ***EDGE User Guide*****. https://edgebuildings.com**

International Finance Corporation. (2025). ***About EDGE*****. Green Business Certification Inc. Retrieved from https://edge.gbci.org**

Jankowska, M. A., & Marcum, J. W. (2010). Sustainability challenge for academic libraries: Planning for the future. College & research libraries, 71(2), 160-170.

Jerkov, A., Sofronijevic, A., & Stanisic, D. K. (2015). Smart and sustainable library: Information literacy hub of a new city. In ***Information Literacy: Moving Toward Sustainability: Third European Conference, ECIL 2015, Tallinn, Estonia, October 19-22, 2015, Revised Selected Papers 3*** **(pp. 22-30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28197-1_3**

Jones, L., & Wong, W. (2016). More than just a green building: Developing green strategies at the Chinese University of Hong Kong Library. ***Library Management, 37*****(6/7), 373-384.**

Jouda,H,. & Abu Dan,M,.(2021). The Role of Scientific Research on Sustainable Development Into Organizations.SSRN Electronic Journal. DOI: 10.2139/ssrn.4233050

Kamyab, H., Khademi, T., Chelliapan, S., SaberiKamarposhti, M., Rezania, S., Yusuf, M., ... & Ahn, Y. (2023). The latest innovative avenues for the utilization of artificial Intelligence and big data analytics in water resource management. ***Results in Engineering, 20,*** **101566.**

Karlberg, P. (2023, May 12). ***BREEAM certification: A standard for sustainable buildings*****. ESG Real Estate. https://proptechos.com/breeam-certification/**

Kavin, L., Stentoft, J., (2017). Fostering of innovation within green growth industries: How the Danish national innovation systems affect supply-network enabled innovation. Int. J. Energy Sect. Manag. 11 (4), 574–594. https://doi.org/10.1108/IJESM-09- 2016-0003.

Keluh, B. S. (2021). The Human Right to a Healthy Environment in Tunisia. ***Journal of Environmental Law*****, 33(2), 287-315.**

Kesuma, A. R., & Rahmawati, D. I. (2024). Application of Green Library Concept in Improving Librarian Performance. ***The First Annual International Conference on Social, Literacy, Art, History, Library, and Information Science (ICOLIS)*****, 2024, 644–650. https://doi.org/10.18502/kss.v9i12.15886**

Ketchoua, G.S., Arogundade, S., Mduduzi, B., (2024). Revaluating the Sustainable Development Thesis: exploring the moderating influence of Technological Innovation on the impact of Foreign Direct Investment (FDI) on Green Growth in the OECD Countries. Discov. Sustain. 5, 252. https://doi.org/10.1007/s43621-024- 00433-w

Khalid, A., & Batool, S. H. (2020). A qualitative case study of green environment: Practices, attitudes and future strategies of Pakistani university librarians. Electronic Green Journal, 1(44).

Khan, Z. I. (2025). Perceptions of librarians on sustainable practices in libraries in the United Arab Emirates: A quantitative study. ***IFLA Journal*****, 03400352251320405.**

King Abdulaziz City for Science and Technology (KACST). (2022). ***Annual Report*****. https://www.kacst.edu.sa**

Kisibi, E. (2017). Sustainability indicators in library operations. ***Library and Information Science Review*****.**

Kolawole, D. T. O., & Oladokun, B. D. (2024). ***Exploring the role of green libraries in promoting eco-friendly reading spaces*****. International Journal of**

Knowledge Content Development & Technology, 14(1), 25–39. https://ijkcdt.net/xml/42075/42075.pdf

Kolawole, D., & Oladokun, B. (2025). Sustainable practices in Nigerian Libraries: Exploring the role of green libraries in promoting eco-friendly reading spaces. *International Journal of Knowledge Content Development & Technology*, *15*(3), 7-22.

Kozlovska, M., Petkanic, S., Vranay, F., & Vranay, D. (2023). Enhancing energy efficiency and building performance through BEMS-BIM integration. *Energies*, *16*(17), 6327.

Krishnan, S. R., Nallakaruppan, M. K., Chengoden, R., Koppu, S., & Iyapparaja, M. (2022). Smart Water Resource Management Using Artificial Intelligence — A Review Sustainability Smart Water Resource Management Using Artificial Intelligence — A Review. October. https://doi.org/10.3390/su142013384

La Presse de Tunisie. (2025, June 17). *Bibliothèque Verte du Belvédère: La réouverture prévue le 22 juin prochain.* Retrieved from https://lapresse.tn/2025/06/17/bibliotheque-verte-du-belvedere-la-reouverture-prevue-le-22-juin-prochain/

Landscape Middle East. (2021, April). Sharjah's newest cultural icon projects its bold ambition blending traditional architecture with cutting edge design. *Landscape Middle East*. https://issuu.com/landscapemiddleeast/docs/april21_binder/s/12107517

Leaders International (2025, April 7). Tunisia's Sustainable Future: Green Innovations Shaping the Country's Landscape. https://leadersinternational.org/results-insights/tunisias-sustainable-future-green-innovations-shaping-the-countrys-landscape/

Lebanese American University Libraries. (2025). *About the Libraries: Joseph G. Jabbra Library*. https://libraries.lau.edu.lb/about/byblos.php

Lehmann, M., Christensen, P., & Johnson, B. (2010). Public-private partnerships and sustainable regional innovation systems. *In Innovation and the Public Sector* (pp. 41–58). Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3159-4_3

Li, J., Guan, Q., & Yang, H. (2018). Winter energy consumption in reading space of green library in cold regions. ***International Journal of Heat and Technology, 36*****(4), 1256-1261.**

Liner, B., DeMonsabert, S., & Morley, K. (2012). Strengthening social metrics within the triple bottom line of sustainable water resources. ***World Review of Science, Technology and Sustainable Development, 9*****(1), 74-90.**

Loorbach D, Frantzeskaki N, Avelino F (2017) Sustainability transitions research: Transforming science and practice for societal change. Annual Review of Environment and Resources 42:599–626. Doi:10.1146/annurev-environ-102014-021340

Luca, E., Narayan, B., & Cox, A. (2022). ***Artificial Intelligence and Robots for the Library and Information Professions*****. Journal of the Australian Library and Information Association, 71(2), 185–188. https://doi.org/10.1080/24750158.2022.2104814**

Ma, N. (2024). ***Artificial Intelligence-Driven Decision Support Systems for Sustainable Energy Management in Smart Cities*****. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. https://doi.org/10.14569/ijacsa.2024.0150953**

Maeda, B., & Dixon, S. (2023). ***Review of the EDGE certification process: Affordable housing focus – Case study Kwangu Kwako Homes*****. FSD Kenya.**

Mahardhika, S. P., & Putriani, O. (2023, June). Deployment and use of Artificial Intelligence (AI) in water resources and water management. In ***IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*** **(Vol. 1195, No. 1, p. 012056). IOP Publishing.**

Maina, J., & Mwiti, F. M. (2023). Analyzing sustainability efforts in supporting the Green Library Initiative by Kenyan University Libraries. ***African Journal of Science, Technology and Social Sciences, 2*****(2), 205-213.**

Manolescu, A., & Sisak, F. (2016). ***LED source, a comparative analysis on lighting efficiency*****. 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 525–528. https://doi.org/10.1109/ICEPE.2016.7781395**

Mansour, Kameel. (2020). Israel's General Guide to Scientific Research and Sustainable Development. Institute for Palestinian Studies, Lebanon.

Markard J, Raven R, Truffer B,. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. Research Policy 41:955–967. doi: 10.1016/j.respol.2012.02.013

Martirano, L., Ruvio, A., Manganelli, M., Lettina, F., Venditti, A., & Zori, G. (2021). *High-efficiency lighting systems with advanced controls*. IEEE Transactions on Industry Applications, 57(4), 3406–3415. https://doi.org/10.1109/TIA.2021.3075185

Marx, A. (2019). PPPs for Sustainable Development: Exploring Their Design and Its Impact on Effectiveness, Sustainability, 11, 1-9. DOI: https://doi.org/10.3390/su11041087

Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation. (2021). *Rapport sur la recherche scientifique au Maroc*. https://www.enssup.gov.ma

Mishra, S. (2023). Greening Libraries for a Sustainable Future: A Comparative Analysis of Green and Traditional Library Practices. *Library Philosophy & Practice*.

Mistry, V. (2022). *Smart Thermostats: Revolutionizing HVAC Control in Building Automation*. *International Journal of Science and Research*. https://doi.org/10.21275/sr24203203502

Mistry, V. (2023). *Energy Efficiency in HVAC Systems through Building Automation*. *Journal of Biosensors and Bioelectronics Research*. https://doi.org/10.47363/jbber/2023(1)113

Mohammed Bin Rashid Centre for Government Innovation. (2021). *Government Innovation Report*. https://www.mbrcgi.gov.ae

Mondal, H. (2021). An overviews of green library: A step towards sustainable world. In book: Influences of green technology in academic libraries (pp. 15-34), Chapter: GT-002: Mayas Publication

Moro Visconti, R., Martiniello, L., Morea, D., & Gebennini, E. (2019). Can public-private partnerships foster investment sustainability in smart hospitals?. *Sustainability*, *11*(6), 1704.

Morris, J., & Kennedy, P. (2018). Libraries and the digital future: Reducing environmental impact through e-resources. Digital Libraries Review, 6(2), 99-115. https://doi.org/10.5678/dlr.2018.05921

Morris, Y. (2024). The green libraries partnership and green libraries campaign. *Business Information Review*, *41*(4), 195-199.

Musall, E., Weiss, T., Lenoir, A., Voss, K., Garde, F., & Donn, M. (2010). Net Zero energy solar buildings: an overview and analysis on worldwide building projects. In *EuroSun conference* (pp. 7-8).

Newell, P., Mulvaney, D., (2013). The political economy of the 'just transition'. Geogr. Compass 7 (5), 409–422. https://doi.org/10.1111/gec3.12048.

Norwegian Green Building Council. (2022). *BREEAM-NOR v6.0: New Construction (SD 5076)*. Retrieved from https://byggalliansen.no

OECD. (2015). *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264239012-en

OECD. (2020). *Main Science and Technology Indicators*. https://www.oecd.org/sti/msti.htm

OECD., (2018). Supporting Research for Sustainable Development. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 57, OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/5jrs3sbkz7r5-en

Oh, S., Haberl, J., & Baltazar, J. (2020). *Analysis of zone-by-zone indoor environmental conditions and electricity savings from the use of a smart thermostat. Science and Technology for the Built Environment*, 26(3), 285–303. https://doi.org/10.1080/23744731.2019.1707618

Okojie, V. O., & Okiy, R. B. (2020). Public Libraries in Nigeria and the Development Agenda. *Library Philosophy & Practice*. 4251. https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/4251

Okojie, V. O., & Okiy, R. B. (2020). Public Libraries in Nigeria and the development agenda. Library Philosophy and Practice (e-journal), 4251. https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/4251

Omar, O., García-Fernández, B., Fernández-Balbuena, A., & Vázquez-Moliní, D. (2018). ***Optimization of daylight utilization in energy saving application on the library in faculty of architecture, design and built environment, Beirut Arab University. Alexandria Engineering Journal.*** **https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2018.10.006**

Ong, C., Tortajada, C., & Arora, O. (2023). Key challenges to urban water management in ASEAN. In ***Urban water demand management: A guidebook for ASEAN*** **(pp. 3-14). Singapore: Springer Nature Singapore.**

Osman, H., & Dango, J. (2024). Green Libraries in Ghana: Evaluating the Effectiveness and Challenges of Environmental Sustainability Efforts. ***Asian Journal of Education and Social Studies, 50*****(11), 228-245.**

Ouazia, B., Arsenault, C., Brhane, S., Lefebvre, D., Nong, G., Mancini, S., & Tardif, P. (2023). ***Performance of a CO2-based demand controlled dual core energy recovery ventilation system for northern housing*****. E3S Web of Conferences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339601002**

Overbeek, G., & Harms, B. (2011). From Sponsor to Partner: NGO Business Alliances that Support Nature Conservation in the Netherlands. Journal of Integrative Environmental Sciences, 8(4), 253-266.

Overland, I., Sagbakken, H. F., Chan, H. Y., Merdekawati, M., Suryadi, B., Utama, N. A., & Vakulchuk, R. (2021). The ASEAN climate and energy paradox. ***Energy and Climate Change, 2,*** **100019.**

Pagore, R., & Chalukya, B. V. (2022). Green library: An overview. IP Indian Journal of Library Science and Information Technology. https://www.ijlsit.org/

Pandey, S., Kumari, D. Mishra, A., & Singh, J. (2022). An introduction to green library. Humanities and Social Sciences, 82(2), 1-8. https://www.hss.org

Pangail, M. (2015). ***Smart energy in library environments: Ethical responsibilities. Journal of Environmental Stewardship,*** **11(2), 45–52.**

Pardo Martínez, C.I., Cotte Poveda, A., (2021). The importance of science, technology and innovation in the green growth and sustainable development goals of Colombia. Environ. Clim. Technol. 25 (1), 29–41. https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0003

Paul, P., Bhimali, A., Aithal, P. S., Kalishankar, T., & Saavedra M, R. (2020). Artificial intelligence & cloud computing in environmental systems-towards healthy & sustainable development. ***International Journal of Inclusive Development, 6*****(1), 01-08. https://doi.org/10.30954/2454-4132.1.2020.10**

Pelizzaro, P. (2015). Public private partnerships for Italian resilient communities. ***Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment,*** **123–134. https://doi.org/10.6092/1970-9870/3657**

Peterson, N. (2016). Introduction to the special issue on social sustainability: integration, context, and governance. ***Sustainability: Science, Practice, & Policy, 12*****(1), 3-7.**

Piętocha, A. (2024). The BREEAM, the LEED and the DGNB certifications as an aspect of sustainable development. ***Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, 23,*** **121–133. https://doi.org/10.22630/ASPA.2024.23.9**

Pîrvu, I. C. (2017). From a small green library to a sustainable community, a path marked with SDGs. https://library.ifla.org/id/eprint/2604/

Pramanik, P. K. D., Mukherjee, B., Pal, S., Pal, T., & Singh, S. P. (2021). Green smart building: Requisites, architecture, challenges, and use cases. In ***Research anthology on environmental and societal well-being considerations in buildings and architecture*** **(pp. 25-72). IGI Global.**

Preciado, J. C., Prieto, A. E., Benitez, R., Rodríguez-Echeverría, R., & Conejero, J. M. (2019). A High-Frequency Data-Driven Machine Learning Approach for Demand Forecasting in Smart Cities. ***Scientific Programming, 2019*****(1), 8319549.**

Preethi, K. A. (2024). ***Transforming Libraries: The Impact of Artificial Intelligence. International Journal of Scientific Research in Engineering and Management.*** **https://doi.org/10.55041/ijsrem38103**

Qabbal, L., Younsi, Z., & Naji, H. (2022). Indoor air quality investigation in a ventilated demonstrator building via a smart sensor. ***International journal of ventilation*****,** ***21*****(2), 89-104.https://doi.org/10.1080/14733315.2020.1786974**

Rahimi, M., & Ebrahimi, H. (2023). Data driven of underground water level using artificial intelligence hybrid algorithms. ***Scientific Reports*****,** ***13*****(1), 10359.**

Rahman, M. H., Mohammed Ghazali, A. B., & Bin Mohamed Sawal, M. Z. H. (2024). Reasons for resistance to technology adoption in university libraries in Bangladesh. ***Information Development*****, 02666669241294249. https://doi.org/10.1177/02666669241294249**

Rahmani, M. (2023). Exploring the integration of AI in public library services. ***AI and Tech in Behavioral and Social Sciences, 1 (4), 33-39*****.**

Ramachandran, S. (2024). Transforming Libraries Sustainably: A Synergy of AI and Machine Learning. ***International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*****, 4(1), 398-401. https://doi.org/10.48175/ijarsct-15354**

Rani, T. S., & Yendluri, J. M. (2024). Sustainable waste management: Innovations and best practices. International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT). https://doi.org/10.38124/ijisrt/ijisrt24aug1613

Rashid, M., Anand, S., & Tan, A. H. T. (2019). Integrating plants and daylight in library design for sustainability: A case study of the National University of Singapore Library. ***Sustainable Cities and Society*****, 47, 101471.**

Rathor, S. K., & Saxena, D. (2020). Energy management system for smart grid: An overview and key issues. ***International Journal of Energy Research*****,** ***44*****(6), 4067-4109.**

Rezai, G., Teng, P. K., Mohamed, Z., & Shamsudin, M. N. (2013). Is it easy to go green? Consumer perception and green concept. American journal of applied sciences, 10(8), 793-800.

Richards, C. E., Tzachor, A., Avin, S., & Fenner, R. (2023). Rewards, risks and responsible deployment of artificial intelligence in water systems. ***Nature Water*****,** ***1*****(5), 422-432.**

Rivera-Santos, M., Rufn, C., & Wassmer, U. (2017). Alliances Between Firms and Non-profits: A Multiple and Behavioural Agency Approach. Journal of Management Studies, 54(6), 854- 875.

Rockfon. (2024). Case Studies: BREEAM-Certified Buildings. https://www.rockfon.co.uk/about-us/blog/2024/breeam-certified-buildings/

Sadeeq, M. A. M., & Zeebaree, S. R. M. (2021). *Design and implementation of smart library system: Challenges and recommendations*. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 9(5), 549–555.

Sadeeq, M. A., & Zeebaree, S. (2021). Energy management for internet of things via distributed systems. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, *2*(02), 80-92.

Sahu, R., Verma, S., Maravi, I., & Kumar, U. (2023). Integrating smart technologies for enhanced indoor environmental quality: A review of recent innovations. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 11(3). https://doi.org/10.15680/ijircce.2023.1103118

Sait, U., GokulLal, K., Kumar, T., Bhaumik, R., & Bhalla, K. (2019). *A framework outlining a daylight responsive model for smart buildings*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1343. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012166

Sakip, S. R. M., Khair, N. A. M., & Ajis, A. M. (2024). THE IMPACT OF BIOPHILIC DESIGN ON COGNITIVE ABILITIES IN UNIVERSITY LIBRARY SETTINGS AND URBAN EDUCATIONAL ENVIRONMENTS. *PLANNING MALAYSIA*, *22*.

Santillan Rojas, J. J., Cabezas Suazo, N. D., Chamorro Monago, J. J., & Aquino Fernandez, A. N. (2023). Artificial intelligence for the management of water projects and the management of water resources: A bibliographical analysis. *Journal of Project Management*, 8(3), 191–198. https://doi.org/10.5267/j.jpm.2023.2.002

Scherer, J. (2014). *Green libraries promoting sustainable communities.* https://library.ifla.org/id/eprint/939/1/152-scherer-en.pdf

Şerban, A. C., & Lytras, M. D. (2020). Artificial intelligence for smart renewable energy sector in europe—smart energy infrastructures for next generation smart cities. *IEEE access*, *8*, 77364-77377.

Sergi, B., Popkova, E., Borzenko, K., & Przhedetskaya, N. (2019). Public–private partnerships as a mechanism of financing sustainable development. *Palgrave Studies in Impact Finance*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16522-2_13

Shahira, Bin Al-Nia and Ibrahim, Bodukha. (2023). The role of scientific research in achieving sustainable development. Journal of Law and Environmental Sciences, 2 (2). 1066-1078.

Shahzad, K., Khan, S. A., Iqbal, A., & Javeed, A. M. D. (2024). Identifying university librarians' readiness to adopt artificial intelligence (AI) for innovative learning experiences and smart library services: an empirical investigation. *Global Knowledge, Memory and Communication*. https://doi.org/10.1108/gkmc-12-2023-0496.

Shane, J. (2012). Positioning your library for solar (and financial) gain. Improving energy efficiency, lighting, and ventilation with primarily passive techniques. The Journal of Academic Librarianship, 38(2), 115-122.

Shayan, M. E. (2020). Solar energy and its purpose in net-zero energy building. *Zero-Energy Buildings—New Approaches and Technologies*, 14.

Singh, M. P., & Dixit, S. (2021). Sustainable strategies towards green libraries: a study of state university libraries of Lucknow, Uttar Pradesh. *Library Philosophy and Practice*, *2021*, 1-21. https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/4968

Singh, P., & Mishra, R. (2019). Environmental sustainability in libraries through green practices/services. *Library Philosophy and Practice*, 1-9. https:// digitalcommons.unl.edu/libphilprac/2312.

Sivaprasad, P., Thanuskodi, S., & Nagaiah, M. (2023). *Challenges and hurdles in establishing a green library*. eScholarship. https://escholarship.org/uc/item/2xf7304p

Slaper, T. F., & Hall, T. J. (2011). The triple bottom line: What is it and how does it work. *Indiana business review*, *86*(1), 4-8.

Snøhetta & DIALOG. (2019). ***Calgary Central Library*****.** **https://snohetta.com/project/65-calgary-central-library**

Snøhetta. (2018). ***King Abdulaziz Center for World Culture (Ithra)*****. Retrieved from https://snohetta.com/projects/77-king-abdulaziz-center-for-world-culture**

Song, X., Wang, Z., Meng, X., & Liu, M. (2024). A Qualitative Study on University Students' Restorative Experience of the Library Space Environment. ***Buildings, 14*****(6), 1641.**

Spacey, R., Goulding, A., & Murray, I. (2003). ***ICT and change in UK public libraries: Does training matter? Library Management,*** **24(1/2), 61–69. https://doi.org/10.1108/01435120310454520**

Stankovic, M., Hasanbeigi, A., & Neftenov, N. (2020). ***Use of 4IR technologies in water and sanitation in Latin America and the Caribbean*****. Inter-American Development Bank, April, 2–47. https://www.globalefficiencyintel.com/s/Use-of-4IR-Technologies-inWater-and-Sanitation-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf**

Steedman, T.L., Del Percio, S. & Kimball, M.L. (2014). The Greening of Public Private partnerships: What Design professionals and Contractors Need to Know for Green Building's Next Legal Frontier, University of Baltimore Journal of Land and Development, USA, Volume 3, Issue 2, 1-42. https://scholarworks.law.ubalt.edu/ubjld/vol3/iss2/2

Sundaresan, S., Kumar, K. S., Kumar, T. A., Ashok, V., & Julie, E. G. (2021). Blockchain architecture for intelligent water management system in smart cities. In ***Blockchain for Smart Cities*** **(pp. 57-80). Elsevier.**

Takeda, T., Kato, J., Matsumura, T., Murakami, T., & Abeynayaka, A. (2021). Governance of artificial intelligence in water and wastewater management: The case study of Japan. ***Hydrology, 8*****(3), 120. https://doi.org/10.3390/hydrology8030120**

Tanner, R., Aldrich, R. S., Antonelli, M., & Ho, A. K. (2019). Libraries as sustainability leaders: ALA's special task force. ***portal: Libraries and the Academy, 19*****(3), 365-374.**

Tashiro, S., & Harada, Y. (2025). Psychological and physiological thermal effects of biophilic built environment using virtual reality: A pilot study for certified green building. ***Building and Environment, 270,*** **112534.**

Terzić, L. (2023). Why is the transition to a green economy important for achieving sustainability? A review of some theoretical approaches and empirical research presented in the literature. *Economic Thought Journal*, Economic Thought 68 (3), 307-332.

The Chicago Athenaeum: Museum of Architecture and Design. (2022, May 26). *Mohammed Bin Rashid Library 2016–2019*. https://www.chi-athenaeum.org/green-architecture-2022/2022/05/26/mohammed-bin-rashid-library-2016-2019/

Times Higher Education. (2023). *Impact Rankings 2023*. https://www.timeshighereducation.com/impactrankings

Trajer, J., Winiczenko, R., & Dróżdż, B. (2021). Analysis of water consumption in fruit and vegetable processing plants with the use of artificial intelligence. *Applied Sciences, 11*(21), 10167.

Tsolkas, C., Spiliotis, E., Sarmas, E., Marinakis, V., & Doukas, H. (2023). Dynamic energy management with thermal comfort forecasting. *Building and Environment, 237,* 110341. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110341

Tunisie.co. (2025, June 23). *Tunis: La Bibliothèque Verte rouvre et séduit un nouveau public*. Retrieved from https://tunisie.co/article/21305/culture/art-et-literrature/tunis-la-bibliotheque-verte-rouvre-et-seduit-un-nouveau-public-124810

U.S. Green Building Council [USGBC]. (2019). *LEED v4 for Building Design and Construction*. Washington, DC: USGBC.

U.S. Green Building Council. (2025). *LEED | U.S. Green Building Council*. Retrieved from https://www.usgbc.org/leed

UNECE (2018). How can innovation and Public–Private Partnerships support sustainable production and consumption and the shift to a circular economy? 03 April, 2018. Available at: https://unece.org/ru/node/814.

UNEP & Global Alliance for Buildings and Construction. (2025). *Global status report for buildings and construction 2024/2025*. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/47214

UNESCO Institute for Statistics. (2021). ***Global Investments in R&D: Fact Sheet No. 59.*** **Retrieved from http://uis.unesco.org**

UNESCO Institute for Statistics. (2022). ***Research and development spending*****. https://uis.unesco.org**

UNESCO Institute for Statistics. (2025). ***Background Information on R&D Statistics: February 2025 Data Release*****. Retrieved from http://uis.unesco.org**

UNESCO. (2020). ***Education for Sustainable Development: A roadmap*****. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802**

UNESCO. (2023). ***Sustainability and information institutions: Policy perspectives for greener knowledge ecosystems*****. Paris: UNESCO Publishing.**

UNESCO. (n.d.). ***Sustainable Development Goals*****. https://www.unesco.org/en/sdgs**

UNESCO. (n.d.). ***UNESCO and Sustainable Development Goals*****. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Retrieved May 14, 2025, from https://www.unesco.org/en/sdgs**

UNIDO (2011), UNIDO Green Industry: Policies for Supporting Green Industry, Vienna, Austria. Available at: https://www.unido.org/sites/default/files/2011-05/web_policies_green_industry_0.pdf

United Nations Environment Programme, & Global Alliance for Buildings and Construction. (2025, March). ***Not just another brick in the wall: The solutions exist – Scaling them will build on progress and cut emissions fast.*** **Global status report for buildings and construction 2024/2025. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/47214**

United Nations Environment Programme. (2020). ***Greening education buildings and learning environments*****. https://www.unep.org**

United Nations. (2021). Asia-Pacific futures in 2040: Raising ambitions for a healthy environment. https://www.unescap.org/kp/2021/asia-pacific-futures-2040raising-ambitions-healthy-environment

Uzuegbunam, I. (2024). Culture and investment in green public-private partnerships. *Journal of Cleaner Production*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141122

Vaja,B & Sharma,P,V.K.(2020)." The development of concept of green library in the college education system & its implication: A system review." International Journal of Advanced Academic studies.2(2).

Vancouver Public Library. (n.d.). *Solar panels at Vancouver Public Library*. Retrieved May 25, 2025, from https://www.vpl.ca/solar

Vasseur, J., & Dunkels, A. (2010). *Chapter 24 – Building Automation*. In *Interconnecting Smart Objects with IP* (pp. 361–372). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375165-2.00024-7

Vassileva, A. (2022). Green Public-Private Partnerships (PPPs) as an instrument for sustainable development. *Journal of World Economy: Transformations & Transitions*. https://doi.org/10.52459/jowett25221122
Zai, P. V., & Lazar, A.-M.-V. (2024). Innovating through public–private partnership. *Archives of Business Research*. https://doi.org/10.14738/abr.1210.17727

Venugopal, K., & Somanadh, K. V. (2024). *Smart library systems: Integrating IoT for enhanced user experience*. In *Libraries as Wisdom Hubs: Interdisciplinary Insights for the Future* (August 2024). https://www.researchgate.net/publication/383062233_Smart_Library_Systems_Integrating_IOT_for_Enhanced_User_Experience

Walker, I., Guyot, G., & Sherman, M. (2019). A review of smart ventilation energy and IAQ performance in residential buildings.

Wang, X., Javaid, M. U., Bano, S., Younas, H., Jan, A., & A. Salameh, A. (2022). Interplay among institutional actors for sustainable economic development—Role of green policies, ecoprenuership, and green technological innovation. *Frontiers in Environmental Science*, *10*, 956824.

Wang, Z., & Wang, L. (2012). ***Indoor air quality control for energy-efficient buildings using CO2 predictive model*****. IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics, 133–138. https://doi.org/10.1109/INDIN.2012.6300925**

Watson, N. (2024, January 30). ***BREEAM certification: A complete guide*****. Office Principles. Retrieved from https://officeprinciples.com/insights/breeam-certification**

WEERAINGHE,A,S & RAMACHANDRA,T.(2018). Economic sustainability of green buildings: a comparative analysis of green vs. Non-green. Built Environment Project and Asset Management. 8, (5).528-543. Retrieved form https://www.netzwerk-gruenebibliothek.de/wpcontent/uploads/pdf/Bhattacharya_2017.pdf

Wehinger, G. (2011). Fostering long-term investment and economic growth Summary of a high-level OECD financial roundtable. ***OECD Journal: Financial market trends, 2011*****(1), 9-29.**

WIPO, & World Intellectual Property Organization Switzerland, G. (2020). Innovative Technology in the Water, Sanitation and Hygiene (WASH) Sector. 12. https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4497&plang=EN

Wong, C., Wood, J., & Paturi, S. (2021). Managing waste in the smart city of Singapore. ***Tropical Constrained Environments and Sustainable Adaptations: Businesses and Communities*****, 225-241.**

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). ***Our Common Future*****. Oxford: Oxford University Press.**

World Food Programme (WFP). (2023). ***Jordan Country Strategic Plan (2023–2027)*****. https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000142933**
World Intellectual Property Organization (WIPO). (2024). ***Global Innovation Index 2024: Web3Lite Preview*****.**
https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/2024/

World Green Building Council. (2023). ***Health and Wellbeing in Green Offices: Optimizing Indoor Environmental Quality*****. Retrieved from https://worldgbc.org**

World Intellectual Property Organization (WIPO). (2023). ***Global Innovation Index 2023: Innovation in the face of uncertainty*** **(16th ed.).** **https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2023-en-main-report-global-innovation-index-2023.pdf**

Xiaofei, Y. A. N. G., Yuefan, K. O. N. G., & Jipu, S. U. N. (2023). Design and Analysis of a Blockchain Security Framework Model for Smart Libraries. ***Journal of Library and Information Sciences in Agriculture*****,** ***35*****(4), 79.**

Xu, J., Li, X., Xi, C., & Weir, M. H. (2024). Development of a machine learning model to support low cost real-time Legionella monitoring in premise plumbing systems. ***Water Research*****,** ***267*****,** **122510.**

Yassin, Muhammad. (2019). Scientific research in the Arab session, Institute of Scientific Research. At the link: (pubcouncil.kuniv.edu.kw/ajh/homear.aspx?id=8&Root=yes)

Yu, Y. (2025, January). Research on the application of artificial intelligence in green building design optimization. In ***The International Conference Optoelectronic Information and Optical Engineering (OIOE2024)*** **(Vol. 13513, pp. 758-762). SPIE.**

Yunus, L., Iswandi, M., Baco, L., Zani, M., Limi, M. A., & Sujono, S. (2023). How does sustainable energy system, creativity, and green finance affect environment efficiency and sustainable economic growth: Evidence from highest emitting economies. ***International Journal of Energy Economics and Policy*****,** ***13*****(1), 261-270.**

Zakora, Aounia and Salem. Maimouna (2016). The role of scientific research in achieving sustainable development. Maghreb Review of Economics and Management, 3(1.) 58-69.

Zhang, Y., & Nie, L. (2011). ***The situation and prospect of LED lighting using in building illumination design*****. 2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, 3700–3701.** **https://doi.org/10.1109/MACE.2011.5987798**

Zhou, K., Fu, C., & Yang, S. (2016). Big data driven smart energy management: From big data to big insights. ***Renewable and sustainable energy reviews*****,** ***56*****,** **215-225.**