تحويل النوافذ إلى أنظمة طاقة نشطة في البيئة العمرانية الحارة

مشيرب قلب الدوحة أنموذجًا



حنين نصير، طالبة دكتوراه في هندسة العمارة،

إشراف: د. عبدالله النعيمي،

رئيس قسم العمارة والتخطيط العمراني،

كلية الهندسة – جامعة قطر

مع استمرار نمو المدن في المناطق ذات المناخ الحار، يواجه قطاع المباني تحديات متزايدة تتمثل في تقليل استهلاك الطاقة مع الحفاظ على مستويات عالية من الراحة الداخلية. في دول مثل دولة قطر، حيث يمثل التبريد النسبة الأكبر من الطلب على الكهرباء، لم يعد التصميم المتكيف مع المناخ خيارًا، بل أصبح ضرورة مُلِحة لتحقيق الاستدامة.

تتناول هذه الدراسة حلاً مبتكرًا يتمثل في تحويل النوافذ من عناصر إنشائية سلبية إلى أنظمة نشطة لتوليد الطاقة، من خلال دمج تقنيات الخلايا الكهروضوئية شبه الشفافة. وعلى عكس الألواح الشمسية التقليدية، يتم دمج هذه التقنيات داخل الزجاج، مما يسمح بتوليد الكهرباء مع الحفاظ على نفاذية الضوء الطبيعي، وهو ما يجعلها مناسبة بشكلٍ خاص للبيئات الحضرية الكثيفة (الشكل 1)، حيث تمثل واجهات المباني مصدرًا كبيرًا غير مستغل للطاقة المتجددة.

تعتمد هذه الدراسة على ثلاث دراسات بحثية علمية محكَّمة ومتكاملة، تقدم معًا فهمًا متعدد المستويات لهذه التقنيات، بدءًا من جودة البيئة

الداخلية، مرورًا بأداء المباني، وصولاً إلى التكامل الحضري.

على مستوى البيئة الداخلية، تركز الدراسة الأولى [1] على تحقيق التوازن بين الإضاءة الطبيعية والراحة البصرية داخل المباني المكتبية. وفي المناخات الحارة مثل دولة قطر، يؤدي الإشعاع الشمسي المرتفع غالبًا إلى الوهج وعدم الراحة البصرية. وباستخدام أدوات محاكاة متقدمة مثل Grasshopper for Rhino و Radiance، تم تحليل تأثير كل من نسبة النوافذ إلى الجدران (WWR) ونفاذية الضوء المرئي (VLT) على توزيع الضوء الداخلي.

وأظهرت النتائج أن الجمع بين نسبة نوافذ إلى جدران 60% (WWR) مع نفاذية ضوء 0.3 (VLT) يمثل الحل الأمثل، حيث يحقق توزيعًا متوازنًا للضوء الطبيعي مع تقليل الوهج، مما يقلل الحاجة إلى الإضاءة الاصطناعية. كما أظهرت النتائج أن استخدام WWR 40% مع VLT بقيمة 0.4 يعد خيارًا جيدًا، لكنه قد يتطلب دعمًا إضافيًا بالإضاءة في بعض الفترات. وتوفر هذه النتائج إرشادات تصميمية مهمة تتناسب مع ظروف دولة قطر المناخية، وتسد فجوة بحثية تتعلق بتطبيق هذه التقنيات في البيئات الصحراوية.

أما على مستوى المبنى، فتبحث الدراسة الثانية [2] في تأثير النوافذ الكهروضوئية شبه الشفافة على الأداء الطاقي والسلوك الحراري. حيث تعمل هذه النوافذ على تقليل اكتساب الحرارة الشمسية، مما يؤدي إلى خفض مباشر في الطلب على التبريد، وهو أمر بالغ الأهمية في المناخات الحارة. وفي الوقت ذاته، تساهم في توليد الكهرباء من مصادر متجددة داخل الموقع.

وتشير النتائج إلى أن هذه الأنظمة يمكن أن تقلل من أحمال التبريد بنسبة تصل إلى 25%، كما يمكنها توفير ما بين10% إلى 20% من احتياجات الطاقة الكهربائية للمبنى، وذلك اعتمادًا على اتجاه الواجهة وتصميمها. ويؤكد ذلك الدور المزدوج لهذه التقنيات كعنصر معماري نشط يجمع بين الكفاءة الحرارية وإنتاج الطاقة.

وعلى مستوى المدينة، تقدم الدراسة إطارًا متكاملاً لدمج هذه التقنيات ضمن التخطيط الحضري المستدام. باستخدام مشروع مشيرب قلب الدوحة كدراسة حالة (شكل 2)، توضح النتائج كيف يمكن دمج النوافذ الكهروضوئية مع أنظمة الطاقة الشمسية على الأسطح لتحقيق استراتيجية طاقة متكاملة. ففي حين توفر الألواح الشمسية أعلى إنتاجية على الأسطح، تُسهم النوافذ في تفعيل الواجهات الرأسية كمصدر إضافي للطاقة، خاصة في المناطق الحضرية عالية الكثافة.

يُسهم هذا التكامل في تحسين كفاءة الطاقة على مستوى المدينة، وتعزيز المرونة الحضرية، وتقليل الاعتماد على الشبكات المركزية. كما يعزز جودة البيئة الداخلية ويوفر حلول طاقة نظيفة تُسهم في تحقيق أهداف الاستدامة في دولة قطر.

وتدعم هذه النتائج الدراسة الثالثة [3]، التي تقدم مراجعة شاملة لتقنيات النوافذ الكهروضوئية شبه الشفافة، حيث تستعرض التطوُّرات في المواد مثل خلايا البيروفسكايت، ومؤشرات الأداء المتعلقة بإنتاج الطاقة والسلوك الحراري، إضافة إلى استراتيجيات الدمج المعماري. كما تسلط الضوء على التوجهات المستقبلية مثل إدارة الطاقة باستخدام الذكاء الاصطناعي والواجهات الذكية القادرة على التكيف مع الظروف البيئية.

ورغم الإمكانات الكبيرة لهذه التقنيات، تشير الدراسات إلى عدد من التحديات، أبرزها تراكم الغبار الذي يؤثر على كفاءة الأنظمة في البيئات الصحراوية، إضافة إلى قضايا المتانة طويلة الأمد، والتكلفة، وغياب الدراسات التطبيقية الميدانية. ويتطلب التغلب على هذه التحديات مزيدًا من البحث التطبيقي والتعاون بين التخصصات المختلفة.

وتؤكد هذه الأبحاث مجتمعة على أهمية تحقيق توازن دقيق بين الإضاءة الطبيعية، والراحة البصرية، والكفاءة الطاقية. وتبرز النوافذ الكهروضوئية شبه الشفافة كحل متكامل يجمع بين هذه العوامل ضمن نظام واحد.

وفي المستقبل، تفتح التقنيات الذكية آفاقًا جديدة لتطوير هذه الأنظمة، حيث يمكن للواجهات التكيفية

أن تعدل مستوى الشفافية والتظليل وإنتاج الطاقة بشكل ديناميكي وفقًا للظروف المناخية، مما يعزز من أداء المباني وراحة المستخدمين.

في الختام، توضح هذه الدراسة أن النوافذ الكهروضوئية شبه الشفافة ليست مجرد ابتكار تقني، بل تمثل تحولاً جذريًا في تصميم المباني في المناخات الحارة. ومن خلال دمج إنتاج الطاقة مع التحكم البيئي والتصميم المعماري، تُسهم هذه التقنيات في تقليل استهلاك الطاقة، وتحسين جودة البيئة الداخلية، وتعزيز الاستدامة الحضرية.

وتقدم هذه الأبحاث مساهمة علمية وعملية تدعم تحقيق رؤية قطر 2030، وتوفر إطارًا تطبيقيًا للمعماريين والمخططين وصُنّاع القرار نحو مدن أكثر ذكاءً واستدامة.

للاطلاع على المخرجات البحثية المنشورة، يرجى الضغط على الرابط أو مسح رمز الاستجابة السريعة:

1. الدراسة الأولى:

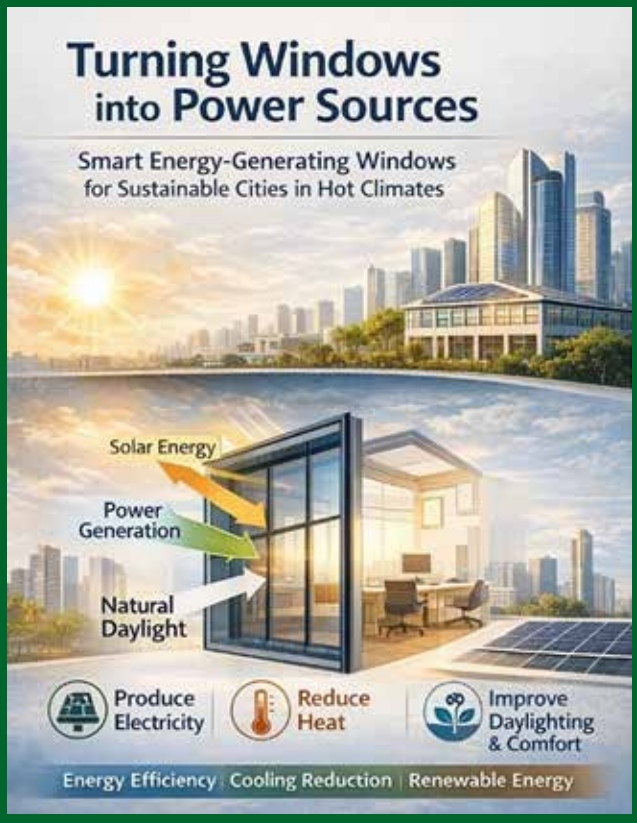
https://doi.org/10.13189/cea.2025.130304

2. الدراسة الثانية:

https://doi.org/10.13189/cea.2025.130441

3. الدراسة الثالثة:

https://doi.org/10.70917/fce-2026-001



الشكل (1): نوافذ شمسية للمدن المستدامة في المناخات الحارة.



الشكل (2): مدى توافق الإطار المقترح مع دراسة حالة مشيرب.