«خفض الكربون على مستوى المجتمع»: أساليب القياس وخصائص الانبعاثات ومسارات التنفيذ

لي شياوجيانغ، لو شياوبي، شاو لينغ، يو مياو، شياو ينغهه، هو جينغجينغ، تشو يو، شي شواي

الملخص. في سياق هدفي بلوغ ذروة الانبعاثات وتحقيق الحياد الكربوني في الصين، أصبح خفض الانبعاثات أولوية وطنية. وتتحمل المدن، بوصفها المراكز الرئيسة لاستهلاك الطاقة والانبعاثات، مسؤولية حاسمة، غير أن آليات فعالة لإزالة الكربون على مستوى المجتمعات المحلية لم تتبلور بعد. تقترح هذه الدراسة نموذجا لقياس انبعاثات الكربون في المجتمعات الحضرية يستند إلى سلوك السكان، وتطبقه على خمسة مجتمعات في شنغهاي وشنتشن وتشونغتشينغ وتشوتشو للكشف عن خصائص الانبعاثات فيها. وتبين النتائج أن العوامل الاجتماعية والاقتصادية ـ مثل مستوى الدخل، والممارسات اليومية، وأنماط السكن ـ والعوامل المادية المكانية ـ مثل درجة المزج الوظيفي، وتقنيات البناء، وتصميم الكتل العمرانية ـ تؤثر تأثيرا معتبرا في حجم الانبعاثات. وبناء على ذلك، تقترح الدراسة مسارات تشمل تحسين البيئة المجهرية للمجتمع، وتبني تقنيات بناء خضراء ملائمة، وتعزيز التنقل الأخضر، وتشجيع أنماط حياة واستهلاك منخفضة الكربون، وتقوية الدعم السياساتي.

الكلمات المفتاحية: خفض الكربون على مستوى المجتمع؛ انبعاثات الكربون؛ قياس الكربون؛ التجديد الأخضر للمجتمعات.

تصنيف المكتبة الصينية: TU984

رمز الوثيقة: A

DOI: 10.16361/j.upf.202405006

رقم المقال: ١٠٠٠-٣٣٦٣ (٢٠٢٤) ٠٥-٠٠٤٠-٠٧

* يمثل هذا المقال إحدى النتائج الرئيسة لمشروع البحث الموضوعي في السياسات الخاصة (SPS) للفترة 2021-2020 التابع للمجلس الصيني للتعاون الدولي بشأن البيئة والتنمية (CCICED)، بعنوان «الابتكارات الكبرى في التقنيات الخضراء وآليات تنفيذها (المرحلة الثانية)». وقد أدار المشروع كل من الأكاديمية الصينية للتخطيط والتصميم الحضري والمنتدى الاقتصادي العالمي (WEF)، بمشاركة معهد شنتشن لبحوث علوم البناء، والوكالة الاتحادية الألمانية للبيئة (UBA)، والمجلس الصيني للأعمال من أجل التنمية المستدامة، وغيرها من المؤسسات الدولية. ونشرت النتائج المشتركة عام 2021 بواسطة المجلس، وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP)، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP).

في سبتمبر 2020 أعلن الرئيس شي جينبينغ أن الصين ستحقق الحياد الكربوني قبل عام 2060، مؤكدا مجددا عزم البلاد على توجيه التنمية الخضراء بمفهوم الحضارة الإيكولوجية. وتشير دراسات إلى أن معدل التحضر قد يبلغ نحو 74% عند الوصول إلى ذروة الانبعاثات [1]. ومن ثم فإن اختيار مسار الذروة بالغ الأهمية في ظل استمرار التحضر. وتمثل المدن، التي تضطلع بمهام تنموية استراتيجية كبرى، الرافعة الحاسمة والمختبر الرئيس للتنمية منخفضة الكربون [3-2]. وهي تستحوذ على نحو 85% من استهلاك الطاقة. وتوضح الخبرة الدولية أن استهلاك الطاقة يتسارع بعد تجاوز نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي عشرة آلاف دولار (الشكل 1). كما ستستمر احتياجات الحياة الحضرية من الطاقة في الارتفاع، وسينتقل ثقل الاستهلاك تدريجيا من الإنتاج إلى الاستهلاك المعيشي مع تحول الاقتصاد. ولا يزال استهلاك الأسر الحضرية الصينية أدنى بكثير من مثيله في الدول المتقدمة الأوروبية والأمريكية، مما يعني أن نمو الطلب مستقبلا سيولد مزيدا من استهلاك الطاقة والانبعاثات. لذلك يشكل التجديد منخفض الكربون للمجتمعات، من منظور سلوك السكان وباعتبارها كيانات اجتماعية ومكانية معا، مدخلا أساسيا لتحقيق الأهداف المناخية في قطاعي السكن والبناء [4].

ومع الانتقال إلى دراسة خفض الانبعاثات في المجتمعات الحضرية، يتبين أن أدوات القياس وطرائق المحاسبة لم تصل بعد إلى توافق. وفي إطار مشروع المجلس الصيني «التجديد الأخضر للمجتمعات في ظل هدفي ذروة الانبعاثات والحياد الكربوني: الابتكارات الكبرى في التقنيات الخضراء وآليات تنفيذها»، بنى المؤلفون بصورة منهجية نموذجا لمحاسبة الكربون في المجتمعات الحضرية، وتتبعوا بيانات الانبعاثات في خمسة نماذج صينية، وحللوا العوامل المؤثرة في الانبعاثات أثناء التجديد. وتهدف الدراسة إلى تحديد استراتيجيات وتقنيات خضراء موجهة وفعالة وميسورة الكلفة تسهم، على مستوى المجتمع، في الوفاء عالي الجودة بالالتزامات المناخية الوطنية.

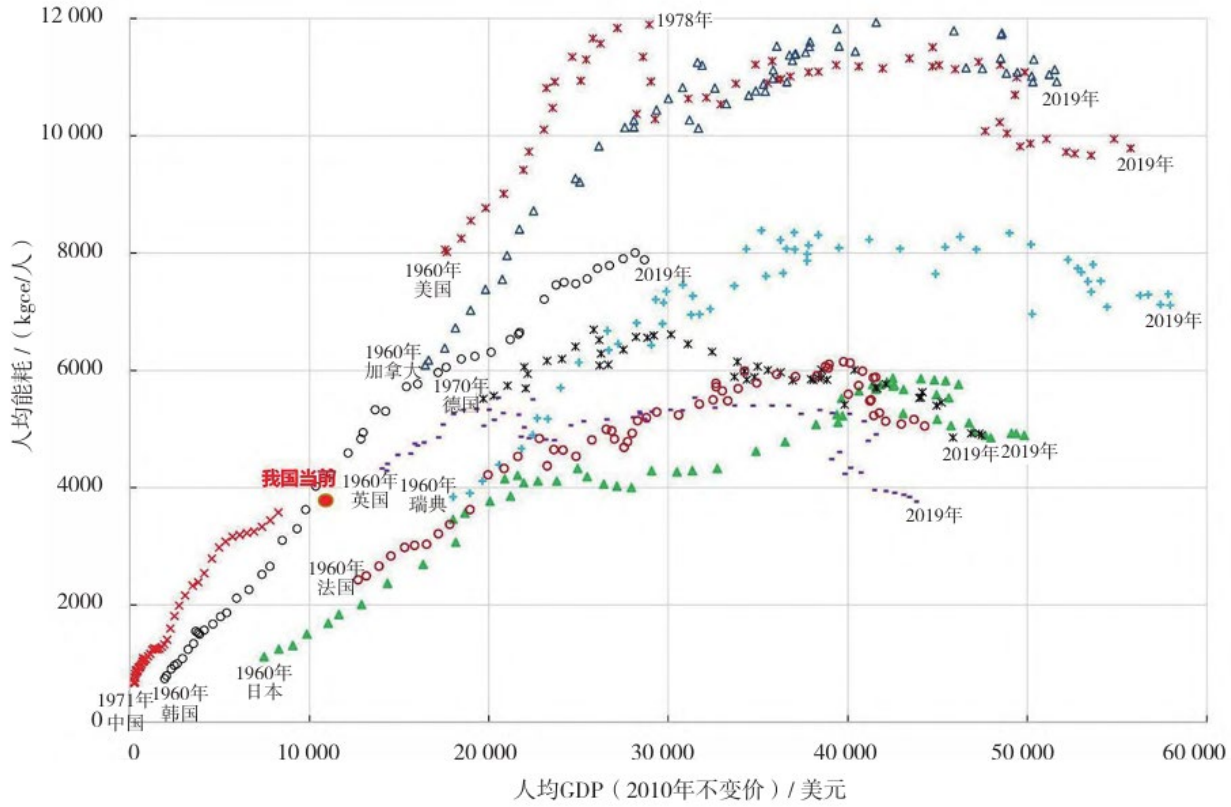
1 أهمية خفض الكربون على مستوى المجتمع في إطار الحياد الكربوني

1.1 قضية حاسمة لإزالة الكربون من المدن وللتجديد الأخضر للمجتمعات

مع ارتفاع تطلعات السكان إلى حياة أفضل، يرجح أن تزداد انبعاثات المجتمعات. فقد أعاد تقرير المؤتمر الوطني التاسع عشر للحزب الشيوعي الصيني تعريف التناقض الرئيس في المجتمع الصيني، فلم يعد بين «الاحتياجات المادية والثقافية المتزايدة للشعب والإنتاج

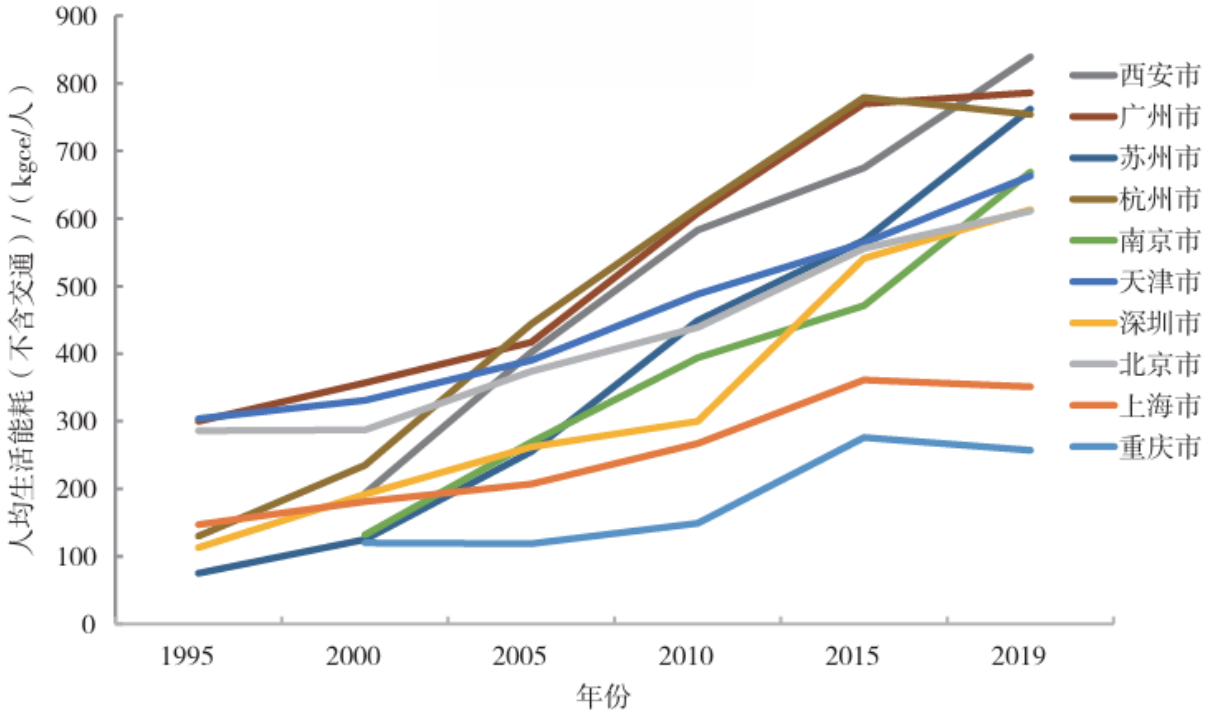
الاجتماعي المتخلف»، بل بين «الحاجة المتزايدة إلى حياة أفضل والتنمية غير المتوازنة وغير الكافية». والحياة الأفضل تعني مزيدا من السلع والاستهلاك المادي والطاقة. وفي عشر مدن صينية مرتفعة الاستهلاك . بدخل متاح للفرد لا يقل عن 50 ألف يوان . تضاعف استهلاك الطاقة المعيشي للفرد مرتين أو ثلاثا خلال العشرين سنة الماضية (الشكل 2). ومن دون تدخل منهجي، قد ترتفع موارد وطاقة وانبعاثات المجتمعات الحضرية بقوة، بما يجعلها عائقا كبيرا أمام الأهداف المناخية للصين.

يوفر التجديد الأخضر للمجتمعات مجالا تطبيقيا واسعا لخفض الانبعاثات. فمنذ عام 2020 عدت الدولة تجديد الأحياء السكنية القديمة مشروعا اجتماعيا وتنمويا كبيرا [5]، واستهدفت أن تستكمل، إلى حد كبير، بنهاية الخطة الخمسية الرابعة عشرة، تجديد الأحياء الحضرية المبنية قبل نهاية عام 2000 والمحتاجة إلى الإصلاح، وعددها نحو 220 ألف مجمع. وفي يوليو 2020 أصدرت ست جهات، من بينها وزارة الإسكان والتنمية الحضرية والريفية واللجنة الوطنية للتنمية والإصلاح، «خطة عمل إنشاء المجتمعات الخضراء»، داعية إلى إدماج التنمية الخضراء في التصميم والبناء والإدارة والخدمات، وتحسين البيئة السكنية بأساليب مقتصدة ومعتدلة ومنخفضة الكربون. ومع تنفيذ استراتيجية الحياد الكربوني، ستتلقى أعمال التجديد المجتمعي منخفض الكربون دعما سياسيا وماليا أكبر، لكنها تحتاج بصورة عاجلة إلى بحوث أكثر موثوقية توفر لها أساسا علميا.



الشكل 1. العلاقة بين إجمالي استهلاك الطاقة للفرد والناتج المحلي الإجمالي للفرد في عدد من الدول المتقدمة

المصدر: مشروع CCICED «التجديد الأخضر للمجتمعات في ظل الأهداف المناخية: الابتكارات الكبرى في التقنيات الخضراء وآليات تنفيذها»، 2021.



الشكل 2. تطور استهلاك الطاقة المعيشي للفرد في عشر مدن صينية

المصدر: مشروع CCICED «التجديد الأخضر للمجتمعات في ظل الأهداف المناخية: الابتكارات الكبرى في التقنيات الخضراء وآليات تنفيذها»، 2021.

1.2 الاحتياجات البحثية والتقدم المحرز

1.2.1 الحاجة إلى قياس دقيق لانبعاثات المجتمعات

استنادا إلى إرشادات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لإعداد قوائم غازات الدفيئة الوطنية، وضعت الصين أدلة للقوائم على مستويي المقاطعة والمدينة. وتشمل خمسة مجالات: الطاقة، والزراعة، واستخدام الأراضي والغابات، والعمليات الصناعية واستخدام المنتجات، والنفايات، وتقدر الانبعاثات من خلال إجمالي الاستهلاك والإحصاءات القطاعية. غير أن المجتمع، مع كونه وحدة عمل مهمة لمواجهة تغير المناخ، لا يزال يفتقر إلى نظام موحد لقياس الانبعاثات.

تتكون انبعاثات المجتمع عادة من ثلاثة أجزاء: الانبعاثات المباشرة داخل حدوده الجغرافية؛ والانبعاثات غير المباشرة المرتبطة بإنتاج ونقل الكهرباء والحرارة وغيرها من الطاقة المستهلكة محليا؛ والانبعاثات المتحركة الناجمة عن الرحلات العابرة للحدود ومعالجة النفايات. وقد اقترح الباحثون نماذج مختلفة تركز على استهلاك الطاقة والتنقل والنفايات [6]. وتضيف بعض الدراسات تنفس السكان، واستهلاك الغذاء والملابس، واستخدام المياه [7]، وتعويض الكربون من المساحات الخضراء العامة [8]. ومع غياب معايير موحدة، لا يوجد في الصين حتى الآن نظام معترف به لتقييم انخفاض الكربون في المجتمعات أو لمتابعة تطور الانبعاثات والتقدم الإنشائي على المدى الطويل [9].

1.2.2 الحاجة إلى استراتيجيات متمايزة في ظل تعدد العوامل

لا تزال دراسات عوامل الانبعاث على مستوى المجتمع قليلة وغالبا ما تقتصر على مدينة واحدة، ولذلك تختلف نتائجها تبعا للفروق المحلية. فقد بينت دراسة يانغ شيوانمي وآخرين [6] على ألف أسرة في نانجينغ أن عدد المقيمين الدائمين والتنقل ومساحة المسكن هي العوامل الثلاثة الرئيسة. وأظهرت دراسة تشو شيويمي وآخرين [10] على 2045 أسرة في قوانغتشو فروقا واضحة حسب نوع الحي السكني وفئة الدخل ومساحة المسكن. ومن ثم ينبغي إجراء مقارنات بين مجتمعات ومدن وأنماط مختلفة وفق منهج ومعايير موحدة للكشف عن الأسباب الداخلية لهذه الفروق.

1.2.3 الحاجة إلى توجيه متنوع للتقنيات الخضراء وأنماط الحياة منخفضة الكربون

تبلورت في الصين خلال السنوات الأخيرة منظومات وتقنيات واستراتيجيات لخفض الكربون على مستوى الكتلة الحضرية تجمع بين الفاعلية وإمكان التنفيذ [11]، في حين لا تزال بحوث المجتمعات في بدايتها. ويسير العمل في اتجاهين: الأول يلخص التجارب الأجنبية الرائدة ويوصي بالمباني الموفرة للطاقة، والطاقة الجديدة، والمواد البيئية، وتحسين استعمالات الأرض، والتنقل الأخضر، ومشاركة الجمهور -12] [13. والثاني يلخص الممارسات الصينية التجريبية، مثل الإدارة منخفضة الكربون، وتجديد المباني، والبنية الأساسية، والثقافة وأنماط الحياة، وتحسين البيئة وقابلية السكن [14]. وتنقسم التدابير عموما إلى تقنيات خضراء وسلوكيات منخفضة الكربون، لكن الربط بين الخبرة الدولية والممارسة الصينية ما زال ضعيفا، كما أن مشروعات التجريب المحلية نادرا ما تقيم أثر الخفض الفعلي. ولذلك تحتاج علمية الاستراتيجيات وفاعليتها إلى مزيد من التحقق.

وعموما لا تزال بحوث خفض الكربون المجتمعي في الصين ناشئة ومجزأة بين القياس، وخصائص الانبعاثات، والعوامل المؤثرة، والاستراتيجيات، ولا تسمح بعد باستخلاص مسار تجديد منهجي موثوق. تنطلق هذه الدراسة من سلوك السكان وتحسب الانبعاثات المرتبطة بالطاقة والتنقل والغذاء والملابس، ثم تخصم امتصاص المساحات الخضراء. وبذلك تبني نموذج محاسبة شامل، وتحلل خمسة مجتمعات، وتكشف بالمقارنة العرضية العلاقات بين الانبعاثات والعوامل الاجتماعية والبيئة المبنية. وتهدف إلى دعم اختيار التقنيات الخضراء وتوجيه أنماط الحياة في التجديد المجتمعي.

1.3 منهج البحث في التجديد الأخضر للمجتمعات الحضرية

تجري الدراسة تحليلا تجريبيا لقياس الانبعاثات وخصائصها وعواملها من منظور السكان. فتحسب أولا الانبعاثات الناتجة من الطاقة والتنقل والحياة اليومية ـ الغذاء والملابس ـ وتطرح امتصاص المساحات الخضراء لبناء نموذج شامل. ثم تختار خمسة مجتمعات نموذجية في أربع مدن، وتحلل هياكل الانبعاثات وتقارنها للكشف عن العلاقات الداخلية بين الانبعاثات والعوامل الاجتماعية وخصائص البيئة المبنية. ويقدم هذا المنهج دعما لاختيار التقنيات الخضراء وتوجيه أنماط الحياة عند التجديد.

2 بناء نموذج محاسبة لانبعاثات المجتمع من منظور سلوك السكان

2.1 أربعة أبعاد للقياس

يعتمد اختيار الأبعاد على البحوث السابقة وعلى إمكانية الحصول على بيانات الأنشطة ميدانيا. وقد حددت أربعة أبعاد: استهلاك الطاقة داخل المجتمع، وتنقل السكان، والحياة اليومية المرتبطة بالغذاء والملابس، وامتصاص الكربون بواسطة الغطاء النباتي. يحسب الأول انبعاثات إنتاج ونقل الموارد الرئيسة المستهلكة محليا، ويشمل الثاني جميع رحلات السكان حتى لو حدثت خارج الحي، ويقدر الثالث انبعاثات دورة معالجة النفايات واستهلاك الغذاء، بينما يحسب الرابع امتصاص المساحات الخضراء.

2.2 بناء النموذج واختيار المعلمات

بني النموذج بالاستفادة من طرائق المحاسبة القائمة، وعدل ليلائم البيانات المتاحة على مستوى المجتمع، وصححت معلماته بالاستناد إلى الأدبيات. والمعادلة العامة هي:

$$E = E_e + E_m + E_l - E_g$$

تمثل الحدود الأربعة في المعادلة، على التوالي، انبعاثات الطاقة، وانبعاثات التنقل، وانبعاثات الغذاء والملابس والحياة اليومية، ثم امتصاص الغطاء النباتي الذي يُطرح من مجموع الانبعاثات.

2.2.1 حساب انبعاثات استهلاك الطاقة في المجتمع

تشمل الانبعاثات الكلية للطاقة (Ee) انبعاثات دورة الإنتاج والنقل والاستخدام لثلاثة موارد رئيسة: الكهرباء والغاز والمياه.

$$E_e = E_{\text{الكهرباء}} + E_{\text{الغاز}} + E_{\text{المياه}}$$

$$E_{\text{الكهرباء}} = Q_{\text{الكهرباء}} \times f_{\text{الكهرباء}}$$

$$E_{\text{الغاز}} = Q_{\text{الغاز}} \times f_{\text{الغاز}}$$

$$E_{\text{المياه}} = Q_{\text{المياه}} \times f_{\text{المياه}}$$

يمثل Q إجمالي استهلاك كل مورد، ويمثل f معامل الانبعاث. ويحدد معامل الغاز عند 2.2 كغ/م³ [15] ومعامل المياه عند 0.3 كغ/طن [16]. ونظرا إلى اختلاف معاملات الشبكات الكهربائية إقليميا، يستخدم لكل مجتمع معامل الشبكة التي ينتمي إليها①.

2.2.2 حساب انبعاثات تنقل السكان

تساوي الانبعاثات الكلية للتنقل (Em) مجموع انبعاثات كل رحلة فردية تبدأ أو تنتهي داخل حدود المجتمع.

$$E_m = \Sigma_k A_k \cdot L_k \cdot GHG_k$$

يمثل Ak تكرار الرحلات بوسيلة النقل k، وLk المسافة المقطوعة. ويستقى التكرار من مسوح السكان، والمسافة من بيانات إشارات الهاتف المحمول. أما GHGk فهو معامل انبعاث الوسيلة k (الجدول 1).

الجدول 1. معاملات الانبعاث لمختلف وسائل النقل

وسيلة النقل	دراسة بكين	دراسة قوانغتشو	دراسة النقل الطرقي في شنتشن	دراسة التنقل اليومي في شنغهاي
سيارة خاصة	0.2500	0.2331	0.240	0.1630
نقل بالسكك	0.0286	0.0209	0.026	0.0073
حافلة تقليدية	0.0540	0.0260	—	0.0213
دراجة	0.0072	—	—	0.0153
شاحنة	—	—	0.388	—
حافلة مخصصة	—	0.0203	—	0.0266

الوحدة: كغ CO_2/(شخص·كم). المصدر: مشروع CCICED «الابتكارات الكبرى في التقنيات الخضراء وآليات تنفيذها».

2.2.3 حساب انبعاثات الغذاء والملابس والحياة اليومية

تشمل الانبعاثات المقابلة (EI) أساسا انبعاثات دورة معالجة النفايات الصلبة ومياه الصرف، والانبعاثات المرتبطة باستهلاك الغذاء.

$$E_I = E_{\text{النفايات الصلبة}} + E_{\text{مياه الصرف}} + E_{\text{الغذاء}}$$

$$E_{\text{النفايات الصلبة}} = W_{\text{النفايات الصلبة}} \times f_{\text{النفايات الصلبة}}$$

$$E_{\text{مياه الصرف}} = W_{\text{مياه الصرف}} \times f_{\text{مياه الصرف}}$$

$$E_{\text{الغذاء}} = P \times f_{\text{الغذاء}}$$

يمثل W للنفايات الصلبة ولمياه الصرف الكميات المتولدة، وتمثل f معاملات الانبعاث. ويستخدم للنفايات معامل محلي، وفي المناطق التي تطبق الفرز يعتمد مرجع أوروبي وأمريكي قدره 0.62 كغ/كغ. ويبلغ معامل معالجة مياه الصرف 6.7×10^{-4} كغ/كغ [4]. أما P فتمثل كثافة السكان، ويمثل معامل الغذاء متوسط الانبعاثات السنوية لاستهلاك الفرد، وقدره 62.8 كغ/(شخص·سنة) [3].

2.2.4 حساب امتصاص الكربون بواسطة الغطاء النباتي

يمثل إجمالي الامتصاص النباتي (Eg) أساسا ما تمتصه المساحات الخضراء ذات الحجم الملحوظ من الكربون.

$$E_g = O \times T \times S$$

تمثل O معدل امتصاص CO_2 للمساحات الخضراء، وقدره 62 غ/(م²·يوم) [17]؛ وتمثل T عدد الأيام الملائمة للبناء الضوئي سنويا في كل مدينة؛ وتمثل S مساحة الخضرة.

3 الدراسة التجريبية وتحليل خصائص انبعاثات المجتمعات

3.1 اختيار المجتمعات وفق العوامل الاجتماعية والمادية

3.1.1 اختيار حالات متنوعة

يراعي الاختيار الظروف الاجتماعية والمادية معا. ويمكن تصنيف عوامل الانبعاث إلى فئتين: عوامل اجتماعية تشمل المستوى الاقتصادي، وبنية الأسرة، ونمط السكن؛ وعوامل مادية تشمل الموقع، وشكل الكتل المبنية، وجودة المباني، واستخدام التقنيات الخضراء.

ولتحليل تكوينات متعددة، اختيرت خمسة مجتمعات في أربع مدن: شيبو جيايوان وجينغجيانغيوان في شنغهاي، وهيي في شنتشن، ودونغتانغ في جيانغشان بمدينة تشوتشو، وهونغيوبو في تشونغتشينغ.

3.1.2 الظروف الاجتماعية والاقتصادية والمادية المكانية للمجتمعات

تختلف الحالات الخمس بوضوح في ظروفها المادية والاجتماعية (الجدول 2). فشيبو جيايوان وجينغجيانغيوان مجتمعان سكنيان حضريان نموذجيان في شنغهاي، متقاربان ويبعدان نحو 15 كم عن المركز، ويتمتعان بالنقل بالسكك وبحلقة خدمات يومية مكتملة. وتغلب عليهما الأسر النووية. ويكمن الفرق الرئيس في تقنيات البناء؛ إذ تستخدم مساكن شيبو جيايوان جدرانا عازلة ونوافذ مزدوجة الزجاج.

أما هيي في شنتشن فهو مجتمع إيجاري حديث نشأ في قرية حضرية بجوار منطقة صناعية، ويسكنه أساسا عمال صناعيون شباب، مع مساحة سكن صغيرة للفرد ونقص في الخدمات العامة. ودونغتانغ في جيانغشان مجتمع قديم بملكية خاصة ودخل منخفض، ويتمتع سكانه بأدنى مستويات التعليم والدخل. وهو مجاور لخدمات المركز، لكن جودة المباني والبنية البلدية ضعيفة. أما هونغيوبو في تشونغتشينغ فهو مجتمع قديم من نمط فناء وحدة العمل، يعاني شيخوخة واضحة، ويقع في المركز ومتصل جيدا بالسكك، لكن البيئة العامة والتجهيزات متدنية الجودة.

الجدول 2. الظروف الاقتصادية والاجتماعية والمادية والمكانية للمجتمعات المدروسة

المؤشر	شيبو جيايوان	جينغجيانغيوان	هيي	دونغتانغ	هونغيوبو
النوع	مجتمع حضري نموذجي بتقنيات منخفضة الكربون	مجتمع حضري نموذجي من دون تقنيات منخفضة الكربون	مجتمع إيجاري شاب في قرية حضرية	مجتمع قديم منخفض الدخل	مجتمع مسن في فناء وحدة عمل قديمة
الموقع	بلدة بوجيانغ، منطقة مينهانغ، شنغهاي	بلدة بوجيانغ، منطقة مينهانغ، شنغهاي	ناحية شاجينغ، منطقة باوآن، شنتشن	مركز مدينة جيانغشان القديمة	منطقة جيولونغبو، تشونغتشينغ
فترة البناء	2006	2004	2010	تسعينيات القرن العشرين	سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين
عدد السكان	10,119	6,268	نحو 9,000	1,734	نحو 16,000
مستوى الدخل	متوسط مرتفع	متوسط	منخفض نسبيا	منخفض نسبيا	متوسط
بنية الأسر	أسر نووية	أسر نووية	مستأجرون أفراد أو أزواج	أسر نووية	أسر ممتدة
نسبة من يبلغون 60 عاما فأكثر	%35	%22	%1	%13	%60
نسبة الإيجار	%20	%29	%98	%0	%60
نظام الملكية	سكن تجاري	سكن تجاري	ملكية جماعية ريفية	ملكية خاصة	مزيج من الملكية الخاصة والسكن التجاري
ظروف الموقع	على بعد 15 كم من المركز	على بعد 15 كم من المركز	ملاصق لمنطقة صناعية	وسط المدينة	المركز التجاري التقليدي للمدينة

المؤشر	شيبو جيايوان	جينغجيانغيوان	هيي	دونغتانغ	هونغيوبو
المساحات الخضراء العامة	حديقة مركزية وخضرة بين مجموعات المباني	حديقة مركزية وخضرة بين مجموعات المباني	لا حدائق أو مساحات خضراء	خضرة متناثرة	خضرة بين مجموعات المباني
ارتفاع المباني	مبان متوسطة وبعض الكتل العالية الصغيرة	مبان متوسطة	مبان متوسطة	مبان منخفضة	غالبا كتل عالية صغيرة وبعض المباني المتوسطة
جودة المباني	جيدة	جيدة	جيدة	ضعيفة	ضعيفة
استخدام تقنيات منخفضة الكربون	نعم	لا	لا	لا	لا

3.2 قياس وتحليل انبعاثات الحياة اليومية للسكان

3.2.1 جمع البيانات ومنهج الحساب

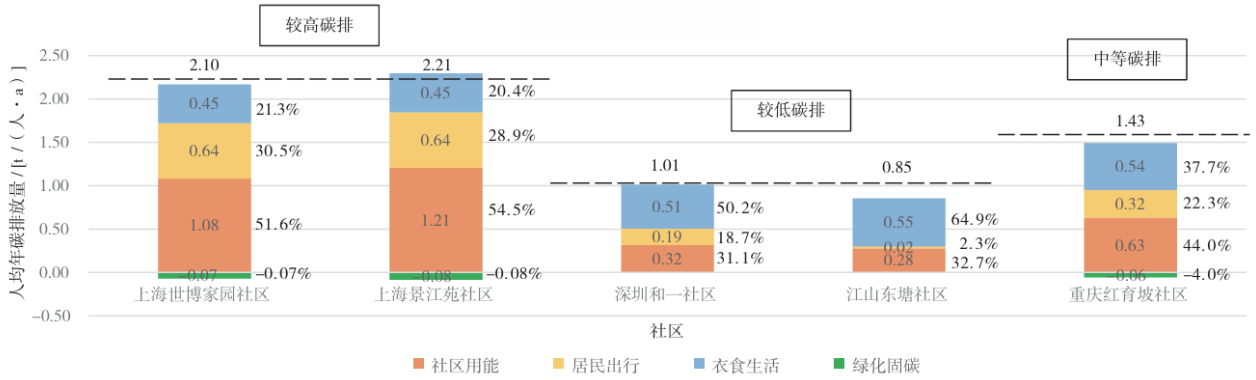
يمكن جمع البيانات بمنهج من أعلى إلى أسفل أو من أسفل إلى أعلى. وتعتمد هذه الدراسة أساسا مسحا عينيا تصاعديا. وقد جمعت لعام 2020 المتوسطات الشهرية لاستهلاك الكهرباء والمياه والغاز في الأسر داخل المجتمعات الخمسة. واستخرج تكرار الرحلات ومسافاتها من بيانات الهاتف المحمول، وقدرت الوسائل بالاستناد إلى دراسات الحصص النمطية حسب المسافات السائدة. وقدمت المجتمعات وشركات إدارة العقارات بيانات النفايات الصلبة واستهلاك الغذاء. ثم يحسب النموذج لكل حالة الانبعاثات السنوية للفرد، والانبعاثات لكل وحدة مساحة سكنية، وهيكل الأبعاد الأربعة.

3.2.2 مستوى الانبعاثات وبنيتها

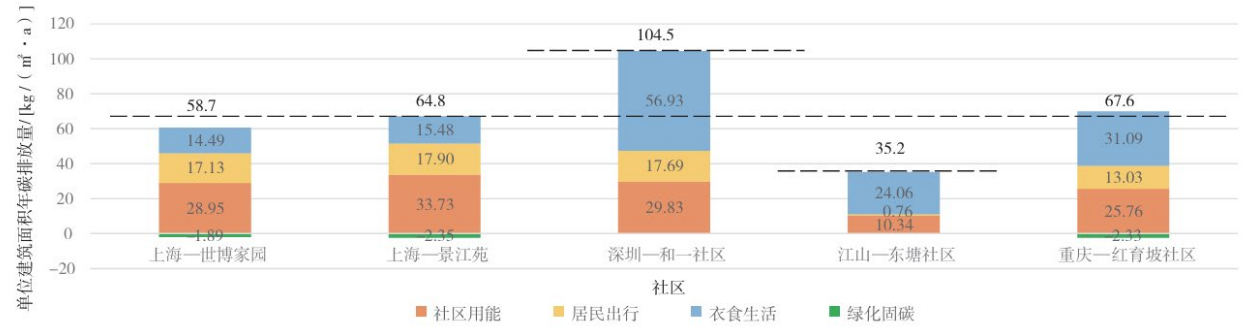
تختلف الحالات الخمس بوضوح في المستوى والبنية، وتشكل ثلاث فئات من الانبعاثات ونمطين رئيسين (الشكل 3). وتسجل مجتمعا شنغهاي انبعاثات مرتفعة للفرد، تقارب ضعف المجتمعات الأخرى. ويقع هونغيوبو في المستوى المتوسط، بينما ينخفض المستوى في هيي ودونغتانغ. ويعود الفرق بين الفئات أولا إلى الطاقة ثم إلى التنقل. ففي حالتي شنغهاي تزيد انبعاثات الطاقة ثلاثة إلى أربعة أضعاف، كما ترتفع انبعاثات التنقل بوضوح. وفي الحياة اليومية يتركز الحساب على معالجة النفايات، ويخفض الفرز الانبعاثات في شنغهاي. وتوجد في مجتمعي شنغهاي وهونغيوبو مساحات خضراء مركزة محدودة، لذلك يبقى الامتصاص ضعيفا.

وتتوزع الانبعاثات لكل وحدة مساحة سكنية أيضا على ثلاثة مستويات (الشكل 4). وتتقارب قيم مجتمعي شنغهاي وهونغيوبو، بينما يرتفع مستوى هيي شديد الكثافة بوضوح، وينخفض مستوى دونغتانغ القديم منخفض الدخل عن بقية الحالات.

ومن حيث البنية، تنقسم المجتمعات إلى نمط يهيمن عليه استهلاك الطاقة ونمط تهيمن عليه الحياة اليومية. ففي شنغهاي وهونغيوبو تمثل الطاقة نحو 55-40%، والتنقل 30-20%، والغذاء والملابس والحياة اليومية 40-20%. أما في هيي ودونغتانغ فتبلغ حصة الحياة اليومية 65-50%، والطاقة نحو 30%، وتكون حصة التنقل الأدنى؛ وهي أقل من 5% في دونغتانغ. وفي الحالات الخمس يبقى امتصاص النبات منخفضا ولا يغير البنية الإجمالية إلا قليلا؛ ويزداد أثره النسبي في هونغيوبو بسبب انخفاض إجمالي الانبعاثات.



الشكل 3. هيكل الانبعاثات السنوية للفرد في المجتمعات المدروسة



الشكل 4. هيكل الانبعاثات السنوية لكل وحدة مساحة سكنية في المجتمعات المدروسة

3.3 العوامل المفسرة للانبعاثات في المجتمعات الخمسة

3.3.1 العوامل الاجتماعية

في الظروف الاقتصادية الحالية، ترتفع الانبعاثات للفرد مع ارتفاع دخل السكان. وتصف الأدبيات علاقة على شكل U مقلوبة بين النمو الاقتصادي والانبعاثات [18-19]، مع نقطة تحول عند نحو 180-100 ألف يوان من الناتج للفرد [20-21، 13]. وقبل هذه العتبة تزداد انبعاثات الأسر مع الناتج. وتقع المجتمعات المدروسة جميعها دون العتبة، لذلك تستمر احتياجات الاستهلاك في الارتفاع مع الدخل. ويتمتع شيبو جيايوان وجينغجيانغيوان بأعلى الدخول، ومساحة سكن كبيرة للفرد، واستخدام أكثر للأجهزة، وملكية سيارات وتنقل آلي أعلى، مما يرفع الانبعاثات. أما دونغتانغ فيقع في مدينة أقل دخلا، ومعظم سكان هيي عمال مصانع إلكترونية مجاورة؛ لذلك ينخفض دخلهم واستهلاكهم وانبعاثاتهم.

وتؤثر الممارسات اليومية تأثيرا كبيرا أيضا. فالبنية العمرية ونموذج الأسرة ونسبة الإيجار تغير عادات استهلاك الطاقة. وهونغيوبو مجتمع مسن يتسم بسلوك مقتصد، لذلك تكون انبعاثاته متوسطة. وفي هيي يغلب المستأجرون الذين يغادرون مبكرا ويعودون متأخرين، فينخفض الاستهلاك المحلي. وتظهر فروق داخل المجتمع الواحد؛ ففي شيبو جيايوان يستهلك كبار السن، لوعيهم الأعلى بالتوفير، نحو 15% أقل من الأسر العادية.

ويؤثر نمط السكن بوضوح في الانبعاثات لكل وحدة مساحة. فشيبو جيايوان وجينغجيانغيوان وهونغيوبو أحياء سكنية تقليدية أو أفنية وحدات عمل، تسكنها أسر في الغالب. وبرغم اختلاف كثافة الطاقة والتنقل، تتقارب انبعاثاتها لكل متر مربع. أما هيي فهي قرية حضرية شديدة الكثافة والإيجار، ومساحة الفرد فيها أقل من ثلث نظيرتها في شنغهاي؛ ولذلك تتجاوز انبعاثاتها لكل مساحة بقية المجتمعات رغم انخفاض الاستهلاك الفردي. وفي دونغتانغ شبكات ضعيفة واستخدام أكبر للمياه والتهوية الطبيعيتين، فتنخفض الانبعاثات إلى نحو نصف الحي العادي. ومع ذلك يبقى أثر نمط السكن معقدا ويرتبط أيضا بتركيب السكان ومزج الاستعمالات.

3.3.2 العوامل المادية

يساعد ارتفاع المزج الوظيفي حول المجتمع على خفض الانبعاثات. فالتوازن بين العمل والسكن على مسافات قصيرة يقلل الرحلات كثيرا. وتقع هيي بجوار منطقة صناعية وتتمتع بتوازن نسبي؛ إذ لا تتجاوز رحلات 75% من السكان 3 كم، وغالبا ما تكون مشيا أو بدراجات

كهربائية. وتقع هونغيوبو ودونغتانغ في مناطق مركزية جيدة الخدمات والنقل العام، لذلك تقصر المسافات وتنخفض حصة التنقل. وعلى العكس، يقع مجتمعا شنغهاي في الضواحي حيث تقل الوظائف عن السكن، ويتجاوز متوسط الرحلة 10 كم وتكون حصة الانبعاثات الأعلى. ومن ثم فإن تحسين توازن العمل والسكن قادر على خفض الانبعاثات الإجمالية بوضوح.

تنتج تقنيات كفاءة الطاقة في المباني خفضا واضحا، لكن ينبغي تقويم كلفتها وصيانتها. فعند تماثل الموقع والتركيب السكاني، يستهلك شيبو جيايوان طاقة أقل للفرد من جينغجيانغيوان بفضل تقنياته الخضراء. غير أن عدم نضج بعض الحلول يستلزم صيانة دورية للواجهات والأسقف ويرفع تكاليف التشغيل اللاحقة. لذلك يجب إدخال نضج التقنية وكلفة دورة الحياة في الاختيار.

كما تؤثر الكتلة العمرانية والتصميم المعماري في الانبعاثات. وتبين دراسات [23-22] أن توزيع المباني وكثافتها وارتفاعها تؤثر في استهلاك السكن. فالتصميم العلمي يحسن الراحة ويقلل الحاجة إلى الإضاءة الاصطناعية وضبط الحرارة. وفي مجتمعات شنغهاي يبلغ استهلاك الكهرباء للفرد في المباني العالية 1.3 مرة مثيله في المباني المتوسطة.

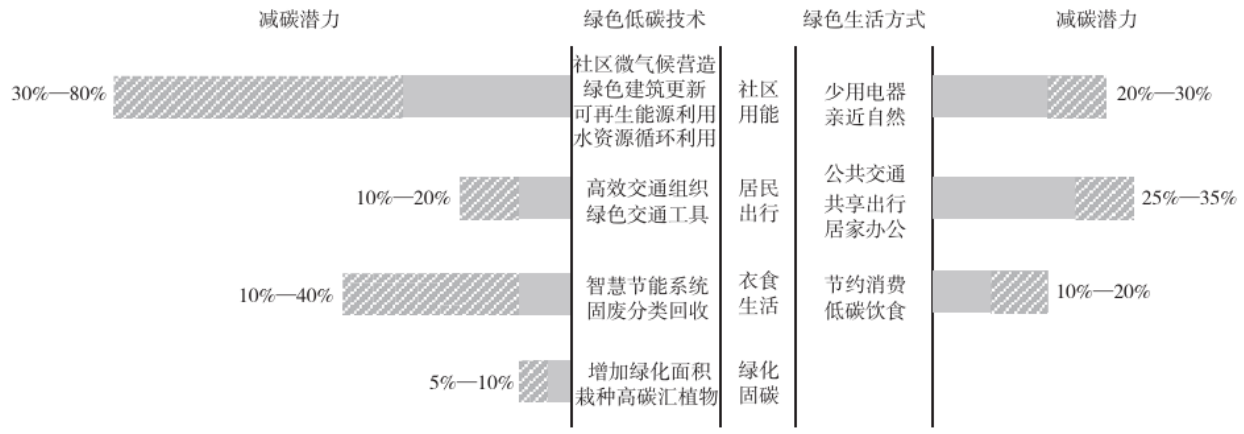
وتبقى قدرة الخضرة على الامتصاص المباشر محدودة، لكن أثرها غير المباشر في المناخ المحلي وأنماط الحياة مهم. فالمساحات الخضراء الجيدة المرتبطة بتجهيزات عامة نوعية تجذب مزيدا من النشاط الخارجي وتخفض استهلاك المساكن. ويستخدم كبار السن والأطفال بانتظام الحديقة والساحة المركزيتين في شيبو جيايوان.

4 مسارات خفض الكربون في المجتمعات الحضرية

توضح الخبرات المحلية والدولية أن خفض الانبعاثات يعتمد أساسا على تطبيق التقنيات الخضراء منخفضة الكربون وعلى تبني أنماط حياة خضراء (الشكل 5). وتتدخل التقنيات في المجال المادي والتجهيزات لرفع كفاءة الطاقة واستخدام الطاقة النظيفة. ويشمل خفض الطاقة تحسين المناخ المحلي وتجديد المباني واستغلال المتجددات؛ ويشمل خفض التنقل تحسين تنظيم النقل واستخدام الوسائل منخفضة الانبعاث؛ ويشمل خفض الحياة اليومية نظم التوفير الذكية وفرز النفايات؛ ويشمل الامتصاص توسيع الخضرة وزراعة الأنواع ذات القدرة العالية على تخزين الكربون.

وتخفض أنماط الحياة الخضراء الانبعاثات عبر تغيير السلوك: تقليل استخدام الأجهزة وزيادة الاتصال بالطبيعة، وتشجيع النقل العام والتنقل المشترك والعمل عن بعد، واقتصاد الموارد والغذاء منخفض الكربون. وتتمتع التقنيات بإمكان خفض أكبر وأكثر استقرارا، بينما تحتاج التغيرات السلوكية إلى دعم مؤسسي أقوى.

وبالجمع بين مسوح تفضيلات السكان وخبرات التجديد الأخضر وإمكانات كل مجتمع، تقترح الدراسة تدابير قابلة للتنفيذ في التخطيط المكاني، وتقنيات البناء، والتنقل، والاستهلاك، إضافة إلى دعم سياسي عابر للقطاعات.



الشكل 5. إمكان خفض الكربون لمختلف التدابير المجتمعية

4.1 تحسين البيئة المجهرية للمجتمع

يؤثر شكل المجتمع في ممارسات الطاقة وفي الانبعاثات الكلية. وتشمل الأولويات: أولا، اعتماد مبان متوسطة الارتفاع والكثافة [24] تحقق توازنا بين الكثافة وجودة البيئة وتخفض كلف دورة الحياة والطاقة. ثانيا، استخدام كتل صغيرة وشبكة طرق كثيفة لرفع الاتصال والواجهات العامة وتوفير بيئة مشي مريحة تقلل الاعتماد على السيارة. ثالثا، تنظيم الخدمات وفق التنمية الموجهة بالنقل العام (TOD) وتوفير وسائل ربط خضراء متنوعة. رابعا، تنظيم المناخ المحلي من خلال المسطحات المائية والأشجار والتخضير الرأسي وغيرها من الحلول البيئية.

4.2 نشر تقنيات البناء الأخضر

تمثل المباني رافعة رئيسة لخفض استهلاك الطاقة. أولا، ينبغي خفض الانبعاثات خلال دورة البناء والتشغيل بأكملها، عبر تفضيل المواد المحلية منخفضة الكربون وغير الملوثة ومنخفضة الطاقة المجسدة، والمواد المعتمدة، وزيادة البناء والتشطيب الجاهز، وتحسين الكفاءة باستبدال الأبواب والنوافذ، وإضافة وسائل التظليل والعزل، واستخدام التشطيبات الفاتحة.

ثانيا، ينبغي تعزيز الأجهزة الموفرة والطاقة الموزعة. ويمكن أثناء التجديد استخدام الأراضي الخاملة لإنشاء محطات طاقة تكاملية تجمع المصادر التقليدية والتوليد الموزع والتخزين. ويجب أن تحقق الإدارة الذكية توازنا آنيا بين العرض والطلب.

ثالثا، ينبغي تطوير التخضير ثلاثي الأبعاد للمباني، في الأسطح والطوابق المرفوعة والشرفات وحواف النوافذ والواجهات، مع دمج متطلبات الإنشاء والصيانة واختيار النباتات.

4.3 تغيير أنماط التنقل

يعتمد خفض انبعاثات النقل على توجيه اختيار الوسيلة وتحويل مصادر الطاقة. ولم تكن مركبات الطاقة الجديدة تتجاوز 3.23% من الأسطول الوطني [25]، ولذلك لا يمكن للتحول الطاقي أن يقود المدى القريب. وتتمثل الأولوية القصيرة الأجل في رفع حصة الوسائل الخضراء وتقليل عدد الرحلات ومسافاتها بتنظيم مكاني فعال، بينما يتطلب المدى البعيد تحسين بنية طاقة النقل.

أولا، تحسين جودة المشي والدراجات، من حيث الراحة والأمان، وضمان اتصال سلس بين المنازل والمحطات عبر الجسور والمباني العامة والمساحات المفتوحة، وإضافة وسائل حركة رأسية وممرات مغطاة ومسارات متصلة تناسب التضاريس والمناخ.

ثانيا، تحسين الربط بالحافلات والسكك الحضرية. ويمكن للمسارات المخصصة للنقل النشط، وفتح مداخل جديدة للمجمعات، وزيادة المحطات ومداخلها أن تعزز جاذبية النقل العام. كما تحسن حافلات المجتمع في ساعات الذروة الربط والتغطية الفعلية.

ثالثا، تحسين الإدارة الدقيقة للتنقل المشترك، بحيث يحدد عدد المركبات وحجم الخدمة علميا وفقا للطلب لرفع معدل الاستخدام.

4.4 تحسين أنماط الحياة والاستهلاك

يعد تغيير أنماط الحياة والاستهلاك من أكثر وسائل الخفض دواما. وينبغي البدء مبكرا في نشرها لرفع قبول السكان وتعميم توفير المياه وفرز النفايات والحد من هدر الغذاء.

وتشمل ثلاثة أبعاد: الأول الاستهلاك منخفض الكربون، أي خفض كثافة الكربون في المنتجات والعمليات، واختيار سلع موفرة وقليلة الانبعاث وطويلة العمر، وتنقل وغذاء أخضرين. والثاني تقليل الاستخدام، أي خفض وتيرة وكثافة استعمال الأجهزة والمركبات وغيرها. والثالث تقصير سلسلة الكربون، أي تغيير أماكن وأنماط العمل والدراسة والحياة لتقليل انبعاثات التنقل اليومي.

4.5 تعزيز دعم السياسات العامة

يشمل الدعم السياساتي الطاقة والبناء والأسر والأفراد والنقل والخدمات البلدية. ففي الطاقة، ينبغي تقوية آليات الأسعار، وتوسيع فروق تعرفة الذروة وخارجها، ودعم تقنيات ومنتجات الكفاءة، وتنشيط سوق التوليد الموزع.

وفي البناء، يلزم إنشاء طرائق ونظم حوكمة لمراقبة وتقييم دورة الحياة كاملة ـ التصميم والبناء والتشغيل والهدم ـ وتطوير إدارة متكاملة للمباني الخضراء. ويمكن وضع حوافز للأسر والأفراد؛ فتمنح الأسر عالية الكفاءة خصومات ضريبية، وتقدم للأسر ذات الاستهلاك المرتفع إعانات للتجديد الطاقي مع المتابعة.

وفي النقل، يمكن اعتماد نقاط أو أرصدة للتنقل منخفض الكربون، ودعم التخلص من المركبات القديمة، ومنح مزايا للمركبات والسفن منخفضة الانبعاث، وتجريب مناطق حضرية منخفضة الانبعاثات.

وفي الخدمات البلدية، ينبغي أن تشجع إصلاحات تعرفة المياه والتسعير التصاعدي على التوفير والكفاءة. كما ينبغي تنسيق إدارة الموارد المائية وطاقة شبكات الإمداد والصرف على مستويي المدينة والمجتمع. ويمكن للإدارة الذكية المتمايزة للمياه العذبة والأمطار والمياه المعالجة أن ترفع كفاءة النظام وتخفض الطاقة والانبعاثات.

وأخيرا، يجب تحسين الرقابة على فرز النفايات، ووضع حوافز وعقوبات لرفع جودة الفصل، وإصلاح رسوم المعالجة لتشجيع التقليل من المصدر، وتسريع بناء منظومة المواد القابلة لإعادة التدوير. وينبغي لآليات السوق ومشاركة رأس المال الاجتماعي أن تزيد إعادة التدوير وتخفض النفايات المتبقية.

5 الخاتمة

المجتمع هو المجال الرئيس للحياة والسكن في المدينة. ويعد التوفيق بين تحسين جودة الحياة والأهداف المناخية قضية محورية في التجديد. ومن دون تدخل مبكر بالتقنيات الخضراء وأنماط الحياة منخفضة الكربون، ستبقى إزالة الكربون من المجتمعات تحديا مستمرا في البناء الحضري والريفي.

وانطلاقا من ذلك، تركز الدراسة على التطبيق الفعلي للتقنيات الخضراء، وتدمج العوامل الاجتماعية والاقتصادية والمادية المكانية، وتختار خمسة مجتمعات في أربع مدن لقياس الانبعاثات وتحديد الاتجاهات والصعوبات المستقبلية. وتتمثل النتائج الرئيسة في: ① نموذج محاسبة ملائم لتوافر البيانات والمتابعة الطويلة؛ ② تحديد العوامل المؤثرة في الانبعاثات السلوكية للسكان؛ ③ توصيات تقنية للمباني والطاقة والنقل والخدمات البلدية؛ ④ وسائل عملية لتوجيه السكان نحو حياة خضراء. ويمكن أن توفر هذه النتائج مرجعا للتجديد والبناء منخفضي الكربون في المجتمعات الصينية، سواء في القياس أو في تطبيق التقنيات.

يعرب المؤلفون عن خالص شكرهم لمركز المعلومات الأكاديمية وفروع شنغهاي والغرب وشنتشن والنقل في الأكاديمية الصينية للتخطيط والتصميم الحضري، ومعهدها للهندسة الإيكولوجية والبلدية، ومعهد شنتشن لبحوث علوم البناء، وجميع المشاركين في المشروع، لما قدموه من أفكار وبيانات ودعم تقني ومساعدة بحثية.

ملاحظة

① تستند القيمة الدقيقة لمعامل انبعاث الكهرباء إلى وثيقة وزارة الإيكولوجيا والبيئة «معاملات الانبعاث المرجعية لشبكات الكهرباء الإقليمية في الصين لمشروعات خفض الانبعاثات لعام 2019».

المراجع

[1] خه تشن، وو تشي تشيانغ، وانغ تسي تشي وآخرون. مسارات بلوغ ذروة الانبعاثات والتحضر الذكي [J]. مجلة التخطيط الحضري، 2021(6): 44-37.

[2] تشنغ ده قاو، وو هاو، لين تشن هوي وآخرون. بناء وحدات حضرية لخفض الكربون ودمج تقنيات التخطيط على أساس محاسبة الكربون [J]. مجلة التخطيط الحضري، 2021(4): 50-43.

[3] تشيو باوشينغ. تخطيط مسارات خفض الكربون في ثلاثة مجالات حضرية رئيسة [J]. مجلة التخطيط الحضري، 2022(5): 37- 44.

[4] يو شيانغ يو، خه جينغ يانغ، تشو دان وآخرون. مسارات وممارسات التجديد منخفض الكربون للمجتمعات القائمة: سبع حالات من شنغهاي [J]. مجلة التخطيط الحضري، 2022(4): 119-111.

[5] اللجنة المركزية للحزب الشيوعي الصيني؛ مجلس الدولة. إرشادات المكتب العام لمجلس الدولة بشأن التعزيز الشامل لتجديد الأحياء السكنية الحضرية القديمة [R]، 2020.

[6] يانغ شيوانمي، قه يوسونغ، تسنغ هونغ ينغ. انبعاثات الكربون للأسر على أساس السلوك الاستهلاكي الفردي [J]. السكان والموارد والبيئة في الصين، 2010، 20(5): 40-35.

[7] لي يانغ. تقييم كربوني للبيئة المبنية في مجتمع أوفرسيز تشاينيز تاون في شنتشن [D]. معهد هاربين للتكنولوجيا، 2013.

[8] تشن شا، لي يي يي، تشنغ لي بينغ وآخرون. دراسة انبعاثات الكربون في مجتمعات بكين على أساس تقييم دورة الحياة [J]. السكان والموارد والبيئة في الصين، 2013، 23(S2): 9-5.

[9] فو لين، تشانغ دونغ يو، يانغ شيو. نظام مؤشرات لتقييم المجتمعات منخفضة الكربون [J]. حماية البيئة، 2019، 47(15): 39- 46.

[10] تشو شيويمي، جيانغ هايان، شياو رونغبو وآخرون. خصائص انبعاثات الكربون في المناطق السكنية في قوانغتشو ودلالاتها للمجتمعات منخفضة الكربون [J]. السكان والموارد والبيئة في الصين، 2014، 24(S1): 23-19.

[11] وو هاو، لين تشن هوي، تشن يانغ وآخرون. إطار تقني واستراتيجية تنفيذ لخفض الكربون على مستوى الكتلة الحضرية بإدارة دورة كاملة: حديقة جيانغهاي الصناعية الرقمية في شنغهاي [J]. مجلة التخطيط الحضري، (S2)2022: 65-59.

[12] يه تشانغ دونغ، تشو تشونشان. إطار وأشكال بناء المجتمعات منخفضة الكربون [J]. البحوث الحضرية الحديثة، 2010، 25(8): 33-30.

[13] قاو ينشيا، وانغ جينليانغ، خه ماوهينغ. ملاحظات حول بناء المجتمعات منخفضة الكربون [J]. البيئة والتنمية المستدامة، 2010، 35(3): 43-40.

[14] فو لين، يانغ شيو، دي تشو. الممارسات والخبرات والتحديات والتوصيات في المشروعات التجريبية للمجتمعات منخفضة الكربون في الصين [J]. حماية البيئة، 2020، 48(22): 66-62.

[15] الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. إرشادات IPCC لعام 2006 لإعداد قوائم غازات الدفيئة الوطنية [R]. اليابان: معهد الاستراتيجيات البيئية العالمية، 2006.

[16] لو تينغ ون. خصائص وعوامل انبعاثات الكربون والنيتروجين الناتجة من استهلاك الأسر الحضرية في بكين [R]. المختبر الوطني الرئيس للإيكولوجيا الحضرية والإقليمية، 2007.

[17] وانغ جوان، لين ين دينغ. الآثار الإيكولوجية للمساحات الخضراء الحضرية [J]. المراعي والعشب، 2004(4): 27-24.

[18] تشو هوان، تشنغ جيه، تشاو تشيويون وآخرون. النمو الاقتصادي وتحول بنية الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون: تحليل تجريبي لبيانات لوحية [J]. بحوث الاقتصاد والإدارة، 2020، 41(11): 34-19.

[19] سونغ تاو، تشنغ تينغ قوه، تونغ ليان جون. تحليل نظري واختبار قياسي للعلاقة بين التلوث البيئي والنمو الاقتصادي [J]. الجغرافيا العلمية، 2007(2): 162-156.

[20] فانغ تشونغ، تشانغ هوا رونغ. التجميع الإقليمي وفق العتبات واختبار عدم التجانس لمنحنى كوزنتس البيئي لانبعاثات الصين [J]. مرجع البحوث الاقتصادية، 2019(21): 98-89.

[21] جيانغ يا. التفاعل بين النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون في الصين: تحليل تجريبي لبيانات الإضاءة الليلية DMSP/OLS [J]. مجلة طلاب الدراسات العليا بجامعة تشونغنان للاقتصاد والقانون، 2017(6): 35-27.

[22] شانغ تشوان. أثر الشكل الحضري على مستوى الكتلة في استهلاك طاقة مجموعات المباني باستخدام المحاكاة الحاسوبية [D]. جامعة الجنوب الشرقي، 2019.

[23] دياو تشه. أثر توزيع المباني في كتل مدينة هاربين القديمة في استهلاك طاقة المباني [D]. معهد هاربين للتكنولوجيا، 2018.

[24] سون جوان. نظام متكامل لطرائق تخطيط خفض الكربون على مستوى الكتلة الحضرية [J]. مجلة التخطيط الحضري، 2022(6): 109-102.

[25] موقع الحكومة الصينية. تجاوز عدد مركبات الطاقة الجديدة في الصين عشرة ملايين مركبة [EB/OL]. 06-07-2022. http://www.gov.cn/xinwen/2022-07/06/content_5699597.htm.

النسخة المنقحة: يوليو 2024

ترجمة بمساعدة الذكاء الاصطناعي