تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۸ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵ | تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

نشریه علمی نامه معماری و شهرسازی، ۱۶(۴۰)، ۵-۲۵
DOI: 10.30480/AUP.2022.2913.1585
نوع مقاله: پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های مؤثر بر طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران*

نوشین ابوالحسنی
دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
ریما فیاض
استاد گروه معماری و انرژی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
(نویسنده مسئول مکاتبات)
E-mail : fayaz@art.ac.ir
علیرضا مستغنی
دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
ستار قصاب ستاری
استادیار گروه معماری، دانشکده مهندسی عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه کوئینزلند جنوبی، کوئینزلند، استرالیا

چکیده

تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین از آثار انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن به اتمسفر است. با توجه به سهم ایران در تولید دی‌اکسیدکربن و تعهدات ملی و بین‌المللی برای کاهش انتشار کربن در کشور از یک‌سو و پتانسیل بالای بخش ساختمان برای کاهش انتشار کربن از سویی دیگر، ضروری است صنعت ساختمان به سمت آینده کم‌کربن هدایت شود. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی شاخص‌های مؤثر بر طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران است. به‌منظور دستیابی به این هدف، شاخص‌های مؤثر با مرور پیشینه تحقیق شناسایی شد و با استفاده از روش دلفی و با توزیع پرسشنامه میان صاحب‌نظران از سه حوزه سیاست‌گذاران، پژوهشگران و فعالان در عرصه ساختمان، اهمیت شاخص‌ها برای دستیابی به ساختمان کم‌کربن در ایران ارزیابی‌شد و در هفت حوزه که عبارت‌اند از مکان‌یابی و سایت، معماری ساختمان، مصالح و روش ساخت، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری آب، کیفیت محیط داخل و انرژی تجدیدپذیر طبقه‌بندی شد. پس از ایجاد اجماع میان‌صاحب‌نظران، با اهمیت‌ترین شاخص‌ها در جهت دستیابی به ساختمان کم‌کربن در ایران، «طراحی اقلیمی» و «ارتقای پوسته خارجی ساختمان متناسب با اقلیم» تعیین شد. دستاورد این تحقیق می‌تواند در شناسایی و مسیریابی تصمیمات کلیدی در طراحی ساختمان کم‌کربن و تعیین خط مشی و اولویت‌بندی سیاست‌گذاران در کشور مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: ساختمان کم‌کربن، معماری پایدار، روش دلفی، صفر کربن، تغییرات اقلیمی

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نوشین ابوالحسنی با عنوان «تدوین چارچوب تصمیم‌گیری برای طراحی ساختمان با انتشار کم‌کربن در ایران» است که با راهنمایی دکتر ریما فیاض و دکتر علیرضا مستغنی و مشاوره دکتر ستار قصاب ستاری در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر در حال انجام است.

مقدمه

تغییرات اقلیمی توجه بسیاری از پژوهشگران را به روش‌ها، ایده‌ها و قوانین برای دستیابی به ساختمان‌های کم‌کربن و شهرهای کم‌کربن در توسعه آینده جلب کرده است. کشور ایران جزء ده کشور اول تولیدکننده دی‌اکسید کربن در جهان است (OECD, 2017). اجلاس تغییرات اقلیمی پاریس در سال ۲۰۱۵ برگزار شد و در آن ۱۹۶ کشور متعهد شدند گازهای گلخانه‌ای کمتری تولید کرده و توسعه متناسب با اقلیم داشته باشند. کشور ایران در این اجلاس متعهد شد تولید گازهای گلخانه‌ای را تا سال ۲۰۳۰، چهار الی هشت درصد کاهش دهد (UNFCCC, 2015). در همین راستا در سال ۱۳۹۴، «تصویب‌نامه در خصوص اقدامات مربوط به برنامه مشارکت ملی در زمینهٔ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای» در هیئت وزیران تصویب شد و کلیه دستگاه‌های اجرایی موظف شدند در حدود اعتبارات مصوب اقدامات تعیین‌شده در این برنامه را انجام دهند (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۴). همچنین مطابق اهداف تعیین‌شده در سند ملی محیط‌زیست کشور ایران باید در افق چشم‌انداز ۱۴۲۰ به رتبه اول در کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای در منطقه و نیز به رتبه اول منطقه در استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر دست یابد. در این سند آمده است که برای حکمرانی پایدار ملی در تولید و مصرف منابع انرژی، باید استانداردهای محیط‌زیستی توسعه پایدار در بهره‌برداری از منابع انرژی تدوین شده و سازوکار توسعه پاک به‌منظور کاهش انتشار کربن ایجاد شود (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۱).

مطابق ترازنامه انرژی ایران در سال ۱۳۹۶، ۲۳٫۳ درصد از سهم انتشار دی‌اکسید کربن در کشور در بخش ساختمان (خانگی، تجاری و عمومی) است (معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۸). با توجه به بیانیه مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی[1] بخش ساختمان به‌صرفه‌ترین فرصت‌ها را برای کاهش انتشار کربن ارائه می‌دهد (Zhou *et al*., 2014). بنابراین با توجه به سهم ساختمان‌ها در انتشار کربن و طول عمر بیشتر آنها نسبت به سایر تولیدکنندگان کربن، پرداختن به موضوع ساختمان کم‌کربن در کشور ضرورت دارد.

ساختمان کم‌کربن[2] ساختمانی است که ضمن تضمین آسایش حرارتی در فضای داخل، انتشار کربن کمتری نسبت به ساختمان‌های متداول دارد (Frank *et al*., 2015). برای دستیابی به ساختمان کم‌کربن، باید در درجه اول میزان بهره‌وری انرژی ساختمان بهبود یابد (Looman, 2017). همچنین میزان انتشار کربن در چرخه حیات ساختمان که شامل استخراج مواد اولیه، تولید (Hildebrand, 2014)، حمل، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری، تخریب، استفاده مجدد و یا بازیافت است، کاهش یافته (Hill and Bowen, 1997) و در صورت امکان انرژی موردنیاز ساختمان در محل پروژه تولید شود (Dawood *et al*., 2013). ساکنان ساختمان‌های کم‌کربن، سطح بالاتری از رضایت و تندرستی دارند و با توجه به هزینه بهره‌برداری کم در این ساختمان‌ها و دریافت حمایت‌های مالی از طرف دولت‌ها از نظر اقتصادی هم مقرون به‌صرفه‌اند (Cho and Chae, 2016).

برای پیاده‌سازی ساختمان کم‌کربن در کشور، در مرحله اول باید شاخص‌های مؤثر بر طراحی ساختمان کم‌کربن شناسایی شده و با توجه به شرایط کشور ارزیابی و اولویت‌بندی شوند. این ارزیابی می‌تواند به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان در کشور کمک کند تا با برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری صحیح و ایجاد زیرساخت‌های قانونی و حمایتی، بازار و صنعت ساختمان را به سمت ساختمان‌های کم‌کربن هدایت کنند. همچنین به فعالان در حوزه ساختمان می‌تواند کمک کند که در راستای کاهش انتشار کربن گام بردارند.

پیشینه تحقیق

مطالعه‌ای که توسط سازمان ملل انجام‌شده، نشان می‌دهد کلیه فعالیت‌های مربوط به ساختمان‌سازی، بیش از یک سوم گازهای گلخانه‌ای را در بسیاری از کشورها تولید می‌کند. در این مطالعه تأثیر زیست‌محیطی

ساختمان در هنگام ساخت، ۴۰ درصد ناشی از مصرف انرژی، ۳۰ درصد ناشی از استخراج مصالح از طبیعت و فراوری آن، ۲۵ درصد ناشی از دورریز و ۲۵ درصد ناشی از مصرف آب و ۱۲ درصد ناشی از استفاده از زمین برآورد شده است (UNEP, 2009).

مطابق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، مصرف سوخت فسیلی برای انرژی مصرفی در ساختمان یکی از شناخته‌شده‌ترین منابع انتشار دی‌اکسیدکربن است (IEA, 2012). افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان، تأثیر چشم‌گیری بر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، اثرات مخرب زیست‌محیطی و هزینه‌های بهره‌برداری خواهد داشت (Baba, 2013; Alawneh *et al*., 2019). با در نظر گرفتن برخی شاخص‌ها همچون بهره‌گیری از سامانه‌های غیرفعال، بهره‌گیری از روشنایی روز (Roufechaei *et al*., 2014)، ارتقای پوسته خارجی ساختمان متناسب با اقلیم (Zapata Poveda, 2014)، افزایش بهره‌وری سیستم روشنایی الکتریکی، استفاده از تجهیزات گرمایش و سرمایش و آب گرم با بهره‌وری بالا و کنترل تجهیزات (Baba, 2013) می‌توان میزان انتشار کربن از ساختمان را کاهش داد. این شاخص‌ها را می‌توان در حوزه «بهره‌وری انرژی» طبقه‌بندی کرد. در ساختمان کم‌کربن، انرژی مورد نیاز با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود (Jones, 2009). از نظر زیست‌محیطی به ازای هر گیگاوات ساعت الکتریسیته تولیدی توسط فتوولتائیک حدود ۱۰۰۰ تن از میزان انتشار دی‌اکسید کربن کاهش می‌یابد (Fthenakis, 2000). با توجه به اهمیت بالای تولید انرژی در ساختمان‌های کم‌کربن، حوزه «انرژی تجدیدپذیر» به صورت مستقل از حوزه «بهره‌وری انرژی» تعریف می‌شود.

تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد منابع آب و انرژی به‌شدت به هم مرتبط هستند. در فرایند تهیه آب آشامیدنی، انتقال آب و تصفیه فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی آب پس از خروج از ساختمان، انرژی مصرف و دی‌اکسید کربن منتشر می‌شود (La Roche, 2017). با بازیافت و استفاده مجدد از آب خاکستری، پایش و نظارت بر مصرف آب (Herrero-Garcia, 2014) و کاهش نیاز و مصرف آب در ساختمان و محوطه (La Roche, 2017) می‌توان «بهره‌وری آب» را افزایش داد. انتخاب نوع سیستم ساختمانی و مصالح مصرفی در چرخه حیات ساختمان از استخراج مصالح خام، فراوری مصالح، حمل‌ونقل، مصرف آب و انرژی در فرایند ساخت، بهره‌برداری و نگهداری تا تخریب ساختمان، به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر انتشار کربن تأثیر می‌گذارد (Tiwari, 2015). انتخاب سیستم ساختمانی و روش ساخت می‌بایست در هماهنگی با محل و شرایط پروژه انجام شود (Pomponi *et al*., 2018). در انتخاب مصالح کل چرخه حیات ساختمان باید مورد توجه قرار گرفته (Luo *et al*., 2019) و ملاحظات اقلیمی و زیست‌محیطی نیز در نظر گرفته شود (Sattary, 2017). استفاده مجدد از مصالح، استفاده از مصالح بازیافتی و مصالحی که امکان بازیافت بیشتری دارند می‌تواند انتشار کربن در ساختمان را کاهش دهد (Sattary, 2017; Herrero-Garcia, 2014). این شاخص‌ها را می‌توان در حوزه «مصالح و روش ساخت» طبقه‌بندی کرد.

معماری ساختمان و تصمیمات معمار، کیفیت ساختمان را تعیین کرده و تأثیر قابل‌توجهی بر کارایی انرژی و میزان انتشار کربن ساختمان دارد (Torcellini *et al*., 2006). کاهش مصرف از راه کاهش تقاضای انرژی باید از ابتدای طراحی و با بهره‌گیری از طراحی اقلیمی مورد توجه قرار گیرد (Boake, 2008). بازاندیشی پیرامون زیربنای ساختمان (Aldossary *et al*., 2015)، بازاندیشی پیرامون فرم، شکل و زیربنای ساختمان و طراحی مدولار (Herrero-Garcia, 2014) می‌تواند در دستیابی به ساختمان کم‌کربن کمک شایانی کند. این شاخص‌ها را می‌توان در حوزه «معماری ساختمان» طبقه‌بندی کرد. بهبود کیفیت محیط داخل و ایجاد آسایش برای کاربران، ضمن حفظ سلامتی و افزایش بهره‌وری و رفاه، سبب کاهش انتشار کربن نیز می‌شود (Alawneh *et al*., 2019). شاخص‌هایی نظیر تأمین آسایش حرارتی و روشنایی (Baba, 2013)، پایش و

کنترل کیفیت هوای داخل (Alyami, 2019) را می‌توان در حوزه «کیفیت محیط داخل» طبقه‌بندی کرد. در طراحی ساختمان کم‌کربن، به اهمیت جانمایی مناسب ساختمان در شهر و دسترسی به کاربری‌های پرکاربرد و حمل‌ونقل عمومی اشاره شده است. میزان انتشار ناشی از حمل‌ونقل می‌تواند انتشار ناشی از بهره‌برداری را تا حدود ۱۴۰ درصد افزایش دهد (Fenner *et al*., 2018). محوطه‌سازی در سایت با توجه به ملاحظات اقلیمی و توجه به ویژگی‌های بستر نیز می‌تواند در کاهش مصرف و کاهش انتشار کربن مؤثر باشد (Baba, 2013). این شاخص‌ها را می‌توان در حوزه «مکان‌یابی و سایت» طبقه‌بندی کرد.

مرور پیشینه تحقیق نشان می‌دهد شاخص‌های مؤثر بر کاهش انتشار کربن در ساختمان را می‌توان در هفت حوزه «مکان‌یابی و سایت»، «معماری ساختمان»، «مصالح و روش ساخت»، «بهره‌وری انرژی»، «بهره‌وری آب»، «کیفیت محیط داخل» و «انرژی تجدیدپذیر» طبقه‌بندی کرد. در گام بعد، چارچوب ساختمان صفر کربن در انگلستان (UKGBC, 2019)، استاندارد طراحی ساختمان صفر کربن در کانادا (CaGBC, 2020)، لید صفر کربن[۳] (USGBC, 2020)، اج صفر کربن[۴] (IFC, 2020) و چارچوب طراحی ساختمان‌های مسکونی نوساز کم‌کربن در استرالیا (Byrne *et al*., 2019) بررسی شد. حوزه‌های مورد تأکید در این چارچوب‌ها و استانداردها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. حوزه‌های مورد بررسی در چارچوب‌ها، استاندارد و گواهینامه‌های طراحی ساختمان کم‌کربن

	چارچوب ساختمان صفر کربن در انگلستان	استاندارد طراحی ساختمان صفر کربن در کانادا	لید صفر کربن	اج صفر کربن	چارچوب طراحی ساختمان‌های مسکونی نوساز کم‌کربن در استرالیا
مکان‌یابی و سایت	-	-	✓	-	✓
معماری ساختمان	✓	✓	-	-	✓
مصالح و روش ساخت	✓	✓	✓	✓	✓
بهره‌وری انرژی	✓	✓	✓	✓	✓
انرژی تجدیدپذیر	✓	✓		✓	✓
بهره‌وری آب	-	-	✓	✓	✓
کیفیت محیط داخل	✓	✓	✓	-	✓

سازمان ملل با توجه به نقش کلیدی ساختمان‌ها در انتشار گازهای گلخانه‌ای و برای دستیابی به اهداف توافق پاریس، یک نقشه راه جهانی برای ساختمان‌های کم‌انتشار تدوین کرد. در این نقشهٔ راه تأکید شده است که در سیاست‌گذاری جهانی، تنوع استانداردهای محلی باید در نظر گرفته شده و برای هر منطقه با توجه به شرایط اقلیمی و زیرساخت‌های آن، هدف‌گذاری انجام شود. اَلونه و همکاران، اهداف و شاخص‌های تعیین‌شده در نقشهٔ راه جهانی سازمان ملل را با روش دلفی و با بهره‌گیری از نظرات متخصصان با توجه به شرایط محلی در کشور اردن ارزیابی و رتبه‌بندی کردند (Alawneh *et al*., 2019). از دیگر تحقیقاتی که برای ارزیابی و رتبه‌بندی شاخص‌ها با توجه به شرایط بستر انجام شده است می‌توان از تدوین چارچوب تصمیم‌گیری ساختمان پایدار در کره جنوبی (Kang *et al*., 2016)، چارچوب سیاست‌گذاری برای طراحی ساختمان‌های بلندمرتبه کم‌کربن در هنگ‌کنگ (Pan and Pan, 2018)، چارچوب تصمیم‌گیری برای طراحی ساختمان مسکونی کم‌کربن در عربستان (Aldossary *et al*., 2015)، ارزیابی شاخص‌های مؤثر در بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های مسکونی چین (Yang *et al*., 2010)، چارچوب تصمیم‌گیری برای ارزیابی ساختمان سبز در قزاقستان (Akhanova *et*

(*al*., 2020) نام برد. در همه تحقیقات مورد اشاره، شاخص‌ها با استفاده از روش دلفی و با بهره‌گیری از نظر متخصصان، با توجه به بستر مورد مطالعه ارزیابی و اولویت‌بندی شدند.

با بررسی پیشینه تحقیق، شاخص‌ها و حوزه‌های مؤثر برای کاهش انتشار کربن در ساختمان شناسایی شد. در تحقیقات پیشین توصیه شده که ارزیابی شاخص‌های طراحی ساختمان کم‌کربن می‌بایست با توجه به شرایط محلی، استانداردها و قوانین ساختمان‌سازی هر کشور توسط صاحب‌نظران محلی به‌صورت مستقل ارزیابی شود. از آنجایی‌که کشور ایران از نظر انتشار کربن در رتبه هفتم جهان قرار دارد (Atlas, 2019) و با توجه به نقش کلیدی ساختمان‌ها در تولید کربن و تعهدات بین‌المللی ایران، ضروری است نسبت به تبیین و اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر طراحی ساختمان کم‌کربن با توجه به ویژگی‌های این سرزمین اقدام شود.

روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق با هدف ارزیابی شاخص‌های مؤثر بر طراحی ساختمان کم‌کربن در تطابق با شرایط کشور ایران انجام می‌شود. بهره‌گیری از رویکردهای تک بعدی برای دستیابی به هدف کافی نیست. بلکه رویکردهای چند جانبه که با مشارکت ذی‌نفعان کلیدی و تصمیم‌گیرندگان انجام می‌شود کارامدی بیشتری دارد (Alawneh *et al*., 2019; Kamaruzzaman *et al*., 2019). روش دلفی یک روش تحقیق برای حل مسئله و به دست آوردن اجماع در حوزه‌هایی از جمله توسعه پایدار، مهندسی و سیاست‌گذاری است (Zarghami *et al*., 2019; Manoliadis *et al*., 2006; Chan *et al*., 2010; Shi *et al*., 2015). این روش در ارزیابی شاخص‌ها در تحقیقات مرتبط با ساختمان پایدار و کم‌کربن در سایر کشورها پیاده‌سازی شده است (Kamaruzzaman *et al*., 2019; Alawneh *et al*., 2019). یکی از ویژگی‌های این روش ناشناس بودن اعضای پانل دلفی است و تمام پاسخ‌های افراد در کل فرایند دلفی به‌صورت محرمانه است تا افراد بتوانند آزادانه نظرات خود را اظهار کنند (Okoli and Pawlowski, 2004). روش دلفی در عمل، مجموعه‌ای از پرسشنامه‌ها یا مراحل[۵] پشت سرهم به همراه بازخوردهای کنترل‌شده‌ای است که تلاش دارد به‌اتفاق نظر میان یک گروه از افراد خبره درباره یک موضوع خاص دست یابد. اعضای پانل دلفی بیش از یک‌بار در پاسخگویی به سؤالات مشارکت دارند. این تکرار سبب می‌شود آنها با بررسی بازخورد سایر متخصصان برای هر شاخص در روند کار، فرصت بازاندیشی پیرامون تصمیمات خود را داشته باشند. تبادل داده بین اعضای پانل تحت کنترل پژوهشگر است. پژوهشگر پاسخ افراد را دریافت کرده و بعد از اتمام هر مرحله و ارزیابی پاسخ‌ها، نتایج را به دور بعد منتقل می‌کند. این فرایند از بحث‌های شخصی میان افراد جلوگیری کرده و ادامه روند کار و تحقیق را تسهیل می‌کند (Rowe and Wright, 1999).

تعیین گروه صاحب‌نظران (پانل دلفی)

روش دلفی با همکاری افرادی انجام می‌پذیرد که در موضوع پژوهش دارای دانش و تخصص باشند. این افراد با عنوان پانل دلفی شناخته می‌شوند (Linstone and Turoff, 1975a). نوع تخصص و تعداد افراد متخصص در پانل دلفی بسیار اهمیت دارد (Linstone and Turoff, 1975b; Rowe and Wright, 1999)، بنابراین دستورالعمل‌هایی برای انتخاب تعداد و ترکیب افراد در پانل دلفی وجود دارد (Okoli and Pawlowski, 2004; Dalkey and Helmer, 1963). ویتکین در تحقیقات خود توصیه می‌کند تعداد متخصصان در پانل دلفی بهتر است کمتر از ۵۰ نفر باشد (Witkin and Altschuld, 1995). با این ملاحظه که پانل باید آن‌قدر بزرگ باشد که طیف‌های مختلف نظرات را در بربگیرد و آن‌قدر بزرگ نباشد که ایجاد اجماع میان همه آنها دشوار شود (Okoli

and Pawlowski, 2004). متقابلاً کلایتن پیشنهاد می‌دهد تعداد افراد در پانل متخصصان بین ۱۵ تا ۳۰ نفر باشد (Clayton, 1997). برخی محققان عقیده دارند که نباید تأکید آماری بر تعداد افراد پانل باشد بلکه هدف مهم و اصلی این است که افراد در پانل دلفی قابلیت، دانش، تخصص و تجربه مرتبط در حوزه مورد مطالعه داشته باشند (Dalkey and Helmer, 1963). درنتیجه مطابق توصیه ویتکین و با بررسی تحقیقات مشابه تعداد ۳۰ نفر متخصص در مرحله اول برای پانل دلفی این پژوهش تعیین شد.

با توجه به ماهیت موضوع مورد مطالعه، ویژگی‌های لازم برای شرکت‌کنندگان در پانل دلفی تعیین شد. در این پژوهش همه اعضای پانل در یکی از رشته‌های مرتبط با ساختمان تحصیل‌کرده‌اند و با مباحث پایداری آشنا هستند. صاحب‌نظران از سه حوزه «سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان»، «پژوهشگران» و «فعالان در صنعت ساختمان» و از هر حوزه ده نفر به پانل دلفی دعوت شدند. اعضای پانل با توجه به سوابق کاری و اجرایی خود از جنبه‌های مختلف به موضوع تسلط داشتند. مشخصات این افراد در جدول (۲) آورده شده است.

متخصصانی که در حوزه «سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان» حضور داشتند، در تصمیم‌گیری‌های کلان تأثیرگذار بوده و با دولت همکاری داشتند. مطابق تکنیک اسنوبال (Biernacki and Waldorf, 1981) این متخصصان می‌توانند بازخورد خود را با توجه به تجربه خود در تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری و تدوین مقررات و استانداردها در کشور ارائه دهند و همچنین با تغییر برخی سیاست‌ها در آینده، صنعت ساختمان را به سمت ساختمان‌های کم‌کربن هدایت کنند. حضور «پژوهشگران» در پانل دلفی در این پژوهش بسیار با اهمیت است، چون آنها دیدگاه و چشم‌انداز متفاوتی در مقایسه با سیاست‌گذاران دارند. با توجه به سوابق پژوهشی، آنها می‌توانند ایده‌ها و راهکارهای جدید را بر پایه روش‌ها و فناوری‌های نوین در کشورهای توسعه‌یافته پیشنهاد دهند.

«فعالان در صنعت ساختمان» می‌توانند بازخورد خود را بر پایه تجربه کاری خود به‌عنوان طراح، مشاور و مجری بیان کنند. این افراد تجربه کافی در عرصه ساختمان‌سازی داشتند و با قواعد و مقررات، چالش‌ها و موانع اجرایی صنعت ساختمان در کشور آشنا بودند. تجربه آنها عمدتاً متمرکز بر ساختمان کم‌انرژی و پایدار بوده و همچنین در مورد مصالح و روش‌های ساخت متداول نیز اطلاعات کافی داشتند.

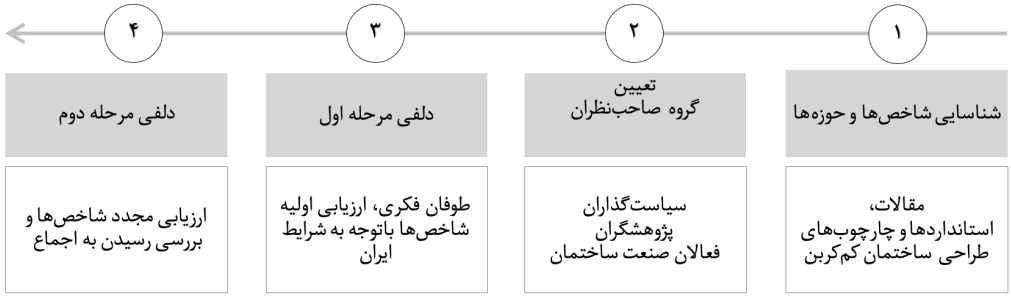
جدول ۲. مشخصات افراد شرکت‌کننده در پانل دلفی

حوزه	محل خدمت	تعداد	توضیحات
سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	۱۰ نفر	این افراد با ساختمان‌های پایدار و کم‌کربن آشنا بوده و فارغ‌التحصیل از رشته‌های معماری و مهندسی مرتبط با ساختمان و همچنین مسئول برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در سازمان متبوع بودند.
	شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت		
	وزارت نفت		
	وزارت نیرو		
	سازمان حفاظت از محیط‌زیست		
	کمیسیون انرژی نظام‌مهندسی		
	شورای مرکزی نظام‌مهندسی		
	پروژه بهینه‌سازی انرژی و محیط‌زیست زیر نظر معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری		
	مدیریت سبز وزارت علوم		
	مدیریت سبز نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس		

حوزه	محل خدمت	تعداد	توضیحات
پژوهشگران	دانشگاه هنر تهران	۱۰ نفر	این افراد دارای مدرک دکتری بودند و در یک دانشگاه تدریس کرده و اطلاعات کافی در حوزه ساختمان کم‌کربن داشتند.
	دانشگاه علم و صنعت ایران		
	دانشگاه تربیت مدرس		
	دانشگاه شیراز		
	دانشگاه تبریز		
	پژوهشکده مواد و انرژی		
فعالان در صنعت ساختمان	شرکت‌های خصوصی فعال در زمینهٔ طراحی و اجرای ساختمان	۱۰ نفر	همه این افراد یک پیشینه تحصیلی و کاری در حوزه پایداری و کارایی انرژی داشتند.

پیاده‌سازی روش دلفی

پس از استخراج حوزه‌ها و شاخص‌های مؤثر در ساختمان کم‌کربن، برای ارزیابی این شاخص‌ها روند دلفی آغاز شد. روند دلفی شامل چند مرحله اساسی است که در شکل (۱) آورده شده است و در ادامه به تفصیل هریک از مراحل شرح داده می‌شود.



شکل ۱. روند دلفی در این پژوهش

در گام اول با مطالعه پیشینه تحقیق، شاخص‌ها و حوزه‌های مؤثر بر ساختمان کم‌کربن شناسایی و پس از طبقه‌بندی اولیه شاخص‌ها، پرسشنامه مرحله اول تنظیم شد. برای بررسی روایی پرسشنامه پیش از توزیع نهایی، پرسشنامه به صورت حضوری به شش نفر (دو نفر سیاست‌گذار، دو نفر پژوهشگر و دو نفر از فعالان صنعت ساختمان) تحویل داده شد و پیرامون شاخص‌های مطرح شده در پرسشنامه بحث و تبادل نظر صورت گرفت. پس از تحلیل پرسشنامه مرحله اول، پرسشنامه مرحله دوم آماده شد و برای آنها ارسال شد و پس از تحلیل نتایج، روایی پرسشنامه تأیید شد. برای بررسی پایایی پرسشنامه ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد. (Cortina, 1993) مقدار ۰/۹۸۲ بیانگر پایایی پرسشنامه است.

در گام دوم، مطابق ویژگی‌های مطرح‌شده در بخش قبل، اعضای پانل دلفی شناسایی و از آنها دعوت به عمل آمد. در جلسه اول برای آنها توضیح داده شد که می‌بایست در چند مرحله به پرسشنامه پاسخ دهند و تا انتهای کار همراه ما باشند. به آنها اطمینان داده شد که در تمام مراحل پاسخ‌های آنها به سؤالات به‌صورت محرمانه حفظ خواهد شد.

در گام سوم، پرسشنامه مرحله اول میان ۳۰ نفر از پانل دلفی توزیع شد و کلیه افراد به پرسشنامه پاسخ دادند. اعضای پانل، شاخص‌های مستخرج از پیشینه تحقیق را بر مبنای میزان اهمیت آنها در طراحی ساختمان

کم‌کربن در ایران بر مبنای مقیاس لیکرت به ترتیب از ۱ تا ۵ (اهمیت بسیار کم، اهمیت کم، اهمیت متوسط و اهمیت زیاد و اهمیت بسیار زیاد) ارزش‌گذاری کردند. به منظور ایجاد طوفان فکری، در پرسشنامه این امکان در نظر گرفته شد که اعضای پانل براساس سوابق حرفه‌ای خود، شاخص‌های پیشنهادی خود را به آن اضافه کنند. علاوه بر آن، اعضای پانل دلفی می‌توانستند پیشنهاد دهند برخی از شاخص‌ها با هم تلفیق شده و به‌صورت یک شاخص کلی ارائه شود. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها و تحلیل پاسخ‌ها در نرم‌افزار SPSS، شاخص‌های آماری (میانگین، انحراف‌معیار و دامنه میان چارکی) مربوط به هر شاخص استخراج شد.

در گام چهارم، پرسشنامه مرحله دوم بر پایه بازخوردهای پرسشنامه اول تنظیم شد. هدف از این پرسشنامه، ارزیابی مجدد شاخص‌هایی که در آن اجماع حاصل‌شده و دستیابی به اجماع در شاخص‌هایی است که اجماع حاصل نشده است و همچنین ارزیابی شاخص‌های مطرح‌شده توسط اعضای پانل در پرسشنامه مرحله اول است. این پرسشنامه مشابه پرسشنامه مرحله اول است با این تفاوت که به‌منظور انعکاس نظر متخصصان در مرحله اول، میانگین پاسخ‌ها در مقابل هر شاخص آورده شده است. متخصصان می‌توانند اهمیت هر یک از شاخص‌ها را ارزیابی کرده و با توجه به نظر سایر متخصصان در پاسخ‌های خود تجدیدنظر کنند. در صورتی‌که نظر متخصصان با میانگین نظرات پانل دلفی در مرحله اول متفاوت است می‌توانند توضیحات خود را بنویسند. در این مرحله میان ۳۰ نفر از متخصصان پرسشنامه توزیع شد و ۲۵ نفر به سؤالات پاسخ دادند. پس از جمع‌آوری پرسشنامه مرحله دوم انحراف معیار و دامنه میان چارکی پاسخ‌ها در نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. نتایج ارزیابی اجماع در بخش بعد آورده شده است.

ارزیابی اجماع

ارزیابی اجماع، یکی از بخش‌های حیاتی در هر مرحله از روش دلفی است. اجماع به معنای اتفاق‌نظر اهل فن درباره یک موضوع است. دستیابی به اجماع با روش‌های اندازه‌گیری پراکندگی داده‌ها سنجیده می‌شود (Gracht, 2012). دامنه میان چارکی[۶]، یکی از پرکاربردترین روش‌های اندازه‌گیری پراکندگی داده‌ها در سنجش میزان اجماع در روش دلفی است. دامنه میان چارکی (IQR) بیانگر فاصله بین چارک سوم و چارک اول است (رابطه ۱). در این رابطه چارک اول (Q1)، چارک سوم(Q3) است.

$$IQR=Q3-Q1 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

دامنه مورد قبول در دامنه میان چارکی به طیف پاسخ‌های پانل دلفی بستگی دارد (Linstone and Turoff, 1975b). در این پژوهش صاحب‌نظران هر شاخص را برمبنای مقیاس لیکرت[۷] (Shields *et al.*, 1987)، به ترتیب از ۱ تا ۵ (اهمیت بسیارکم، اهمیت کم، اهمیت متوسط و اهمیت زیاد و اهمیت بسیار زیاد) ارزیابی می‌کنند. در مطالعاتی که پاسخ‌های سؤالات طیف لیکرت پنج‌تایی است، دامنه میان چارکی یک و کمتر ($IQR \leq 1 \geq 0$) نشان‌دهنده برقراری اجماع است (Gracht, 2012).

در این تحقیق برای تعیین میزان اجماع و نمایش پراکندگی داده‌ها نسبت به میانگین در هر شاخص، انحراف‌معیار[۸] محاسبه می‌شود. انحراف‌معیار جذر متوسط مربع فاصله مقادیر از میانگین است (رابطه ۲). در رابطه ۲، انحراف‌معیار (SD)، : مقدار داده شماره i (X_i) و تعداد داده‌ها (n) است

$$SD(x)=\sqrt[2]{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{(رابطه۲)}$$

در این تحقیق با استفاده از هر دو شاخص انحراف معیار و دامنه میان چارکی اجماع اعضای پانل دلفی ارزیابی شد و شاخص‌هایی که میان اعضای پانل دلفی، پیرامون اهمیت آن در دستیابی به ساختمان کم‌کربن اجماع

حاصل نشد از لیست شاخص‌ها حذف شد. مطابق جدول (۳)، انحراف‌معیار این شاخص‌ها بین ۰٫۴۲۸ تا ۰٫۹۲۲ و دامنه میان چارکی یک و کمتر از یک است که حاکی از برقراری اجماع میان صاحب‌نظران است. در این تحقیق برای ارزیابی اهمیت هر شاخص، معیار «میانگین» محاسبه شد. میانگین وزنی هر شاخص در بخش یافته‌ها آورده شده است.

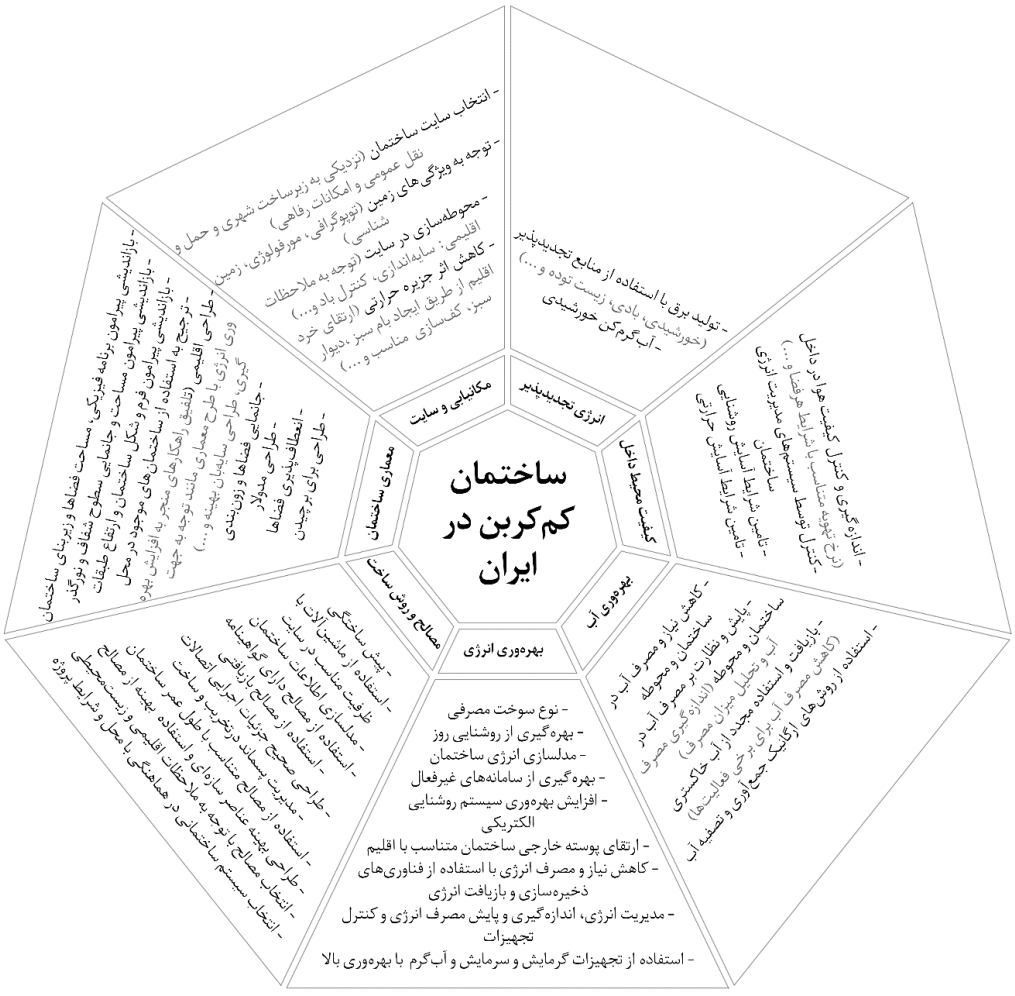
جدول ۳. ارزیابی اجماع اعضای پانل دلفی در شاخص‌های مؤثر بر کاهش انتشار کربن در ساختمان

حوزه	تعداد شاخص‌ها	شاخص	دامنه میان‌چارکی	انحراف‌معیار	ارزیابی اجماع
مکان‌یابی و سایت	۴	انتخاب سایت ساختمان	۱	۰٫۸۰۲	✓
		توجه به ویژگی‌های زمین	۱	۰٫۶۶۹	✓
		محوطه‌سازی در سایت	۰	۰٫۵۸۳	✓
		کاهش اثر جزیره حرارتی	۰	۰٫۵۳۹	✓
معماری ساختمان	۹	طراحی اقلیمی	۰	۰٫۴۲۸	✓
		ترجیح به استفاده از ساختمان‌های موجود در محل	۱	۰٫۶۱۸	✓
		بازاندیشی پیرامون فرم، شکل ساختمان و ارتفاع طبقات	۱	۰٫۵۴۸	✓
		بازاندیشی پیرامون برنامه فیزیکی و مساحت فضاها و زیربنای ساختمان	۱	۰٫۶۱۸	✓
		بازاندیشی پیرامون مساحت و جانمایی سطوح شفاف و نورگذر	۱	۰٫۷۰۵	✓
		جانمایی فضاها و زون‌بندی	۱	۰٫۵۴۸	✓
		طراحی مدولار	۱	۰٫۶۱۸	✓
		انعطاف‌پذیری فضاها	۱	۰٫۶۸۶	✓
		طراحی برای برچیدن	۱	۰٫۷۲۵	✓
مصالح و روش ساخت	۱۱	انتخاب مصالح با توجه به ملاحظات اقلیمی و زیست‌محیطی	۱	۰٫۵۷۵	✓
		استفاده از مصالح بازیافتی و مصالح و سیستم‌های ساختمانی که امکان بازیافت بیشتری دارند و استفاده مجدد از مصالح و اجزا.	۱	۰٫۵۷۵	✓
		استفاده از مصالح متناسب با طول عمر ساختمان	۱	۰٫۶۹۸	✓
		استفاده از مصالح دارای گواهینامه	۱	۰٫۶۹۸	✓
		طراحی صحیح جزئیات اجرایی اتصالات	۱	۰٫۵۷۵	✓
		مدیریت پسماند درتخریب و ساخت	۱	۰٫۶۷۶	✓
		طراحی بهینه سازه و عناصر سازه‌ای و استفاده بهینه از مصالح	۱	۰٫۸۴۰	✓
		پیش‌ساختگی	۱	۰٫۵۷۵	✓
		مدلسازی اطلاعات ساختمانی	۱	۰٫۷۰۵	✓
		انتخاب سیستم ساختمانی در هماهنگی با محل و شرایط پروژه	۱	۰٫۶۴۷	✓
		استفاده از ماشین‌آلات با ظرفیت متناسب در سایت	۱	۰٫۷۸۴	✓

حوزه	تعداد شاخص‌ها	شاخص	دامنه میان‌چارکی	انحراف‌معیار	ارزیابی اجماع
بهره‌وری انرژی	۱۰	بهره‌گیری از سامانه‌های غیرفعال	۱	۰٫۵۱۱	✓
		ارتقا پوسته خارجی ساختمان متناسب با اقلیم	۱	۰٫۴۶۱	✓
		بهره‌گیری از روشنایی روز	۱	۰٫۵۰۲	✓
		افزایش بهره‌وری سیستم روشنایی الکتریکی	۱	۰٫۵۹۴	✓
		استفاده از تجهیزات گرمایش و سرمایش و آبگرم با بهره‌وری بالا	۱	۰٫۵۱۱	✓
		کنترل تجهیزات	۱	۰٫۵۱۱	✓
		اندازه‌گیری و پایش مصرف انرژی در ساختمان و مدیریت انرژی	۰	۰٫۵۳۹	✓
		نوع سوخت مصرفی	۱	۰٫۵۹۴	✓
		کاهش نیاز و مصرف انرژی با استفاده از فناوری‌های ذخیره‌سازی	۱	۰٫۵۹۴	✓
		انجام مدلسازی انرژی ساختمان	۱	۰٫۵۱۴	✓
بهره‌وری آب	۵	کاهش نیاز و مصرف آب در ساختمان و محوطه	۱	۰٫۷۰۵	✓
		پایش و نظارت بر مصرف آب در ساختمان و محوطه	۱	۰٫۸۲۶	✓
		بازیافت و استفاده مجدد از آب خاکستری	۱	۰٫۷۶۷	✓
		استفاده از روش‌های ارگانیک جمع‌آوری و تصفیه آب	۱	۰٫۹۲۲	✓
		آبیاری بهینه فضای سبز و کاشت گیاهان بومی	۱	۰٫۸۹۵	✓
کیفیت محیط داخل	۴	تأمین شرایط آسایش روشنایی	۱	۰٫۷۸۶	✓
		تأمین شرایط آسایش حرارتی	۱	۰٫۷۶۷	✓
		اندازه‌گیری و کنترل کیفیت هوای مناسب در داخل	۰	۰٫۷۲۵	✓
		کنترل توسط سیستم‌های مدیریت انرژی ساختمان	۱	۰٫۷۸۶	✓
انرژی تجدیدپذیر	۲	تولید برق با استفاده از منابع تجدیدپذیر	۱	۰٫۶۱۸	✓
		آب‌گرم‌کن خورشیدی	۱	۰٫۵۱۱	✓

یافته‌ها و بحث

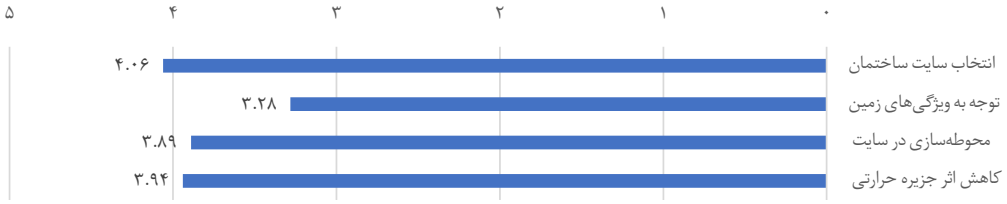
با توجه به اجماع میان پانل دلفی، شاخص‌های طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران در هفت حوزه و ۹۴ شاخص مطابق شکل (۲)، طبقه‌بندی شد که شامل: مکان‌یابی و سایت، معماری ساختمان، مصالح و روش ساخت، بهره‌وری انرژی، بهره‌وری آب، کیفیت محیط داخل، انرژی تجدیدپذیر است. لازم به ذکر است که اولویت شاخص‌ها در این شکل در نظر گرفته نشده است. همچنین اهمیت هر شاخص برای دستیابی به ساختمان کم‌کربن در ایران مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج در این بخش آورده شده است.



شکل ۲. حوزه‌ها و شاخص‌های دستیابی به ساختمان کم‌کربن در ایران

مکان‌یابی و سایت

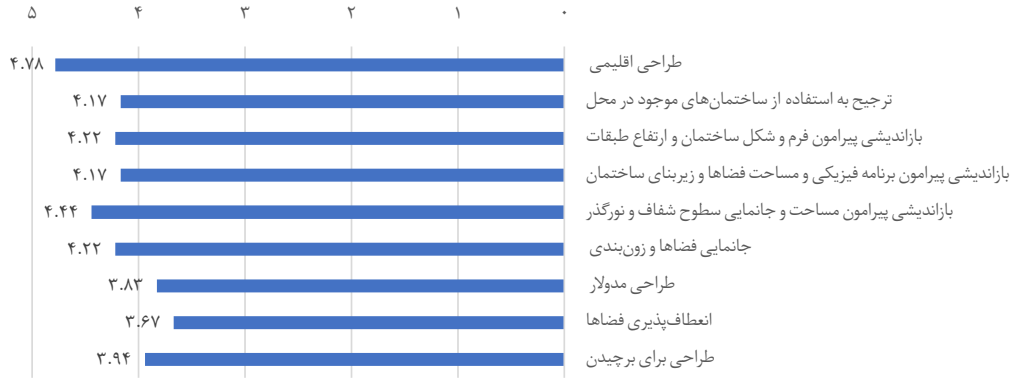
در حوزه مکان‌یابی و سایت، صاحب‌نظران تأکید داشتند «انتخاب سایت پروژه و جانمایی ساختمان در شهر» (میانگین: ۴٫۰۶) از اهمیت زیادی در دستیابی به ساختمان کم‌کربن برخوردار است. در انتخاب سایت می‌توان به عواملی همچون نزدیک بودن به زیرساخت‌های شهری، حمل‌ونقل عمومی و امکانات رفاهی اشاره کرد. بنا به توصیه اعضای پانل دلفی می‌بایست در طرح کالبدی ملی، طرح جامع سرزمین، طرح کالبدی منطقه‌ای، طرح توسعه و عمران ناحیه‌ای، طرح جامع شهر و طرح تفصیلی، کاربری‌ها و میزان تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی متناسب با زیرساخت‌های مورد نیاز جانمایی شوند. در مرتبه بعدی صاحب‌نظران بر این امر اجماع داشتند که می‌بایست به «کاهش اثر جزیره حرارتی» (ارتقای خرد اقلیم از طریق ایجاد بام سبز، دیوار سبز، کف‌سازی مناسب و ...) و «محوطه‌سازی در سایت با توجه به ملاحظات اقلیمی» (سایه‌اندازی، کنترل باد و ...) توجه شود. در شکل (۳) میانگین وزن شاخص‌های مکان‌یابی و سایت با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران آورده شده است.



شکل ۳. میانگین وزن شاخص‌های مکان‌یابی و سایت با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران

معماری ساختمان

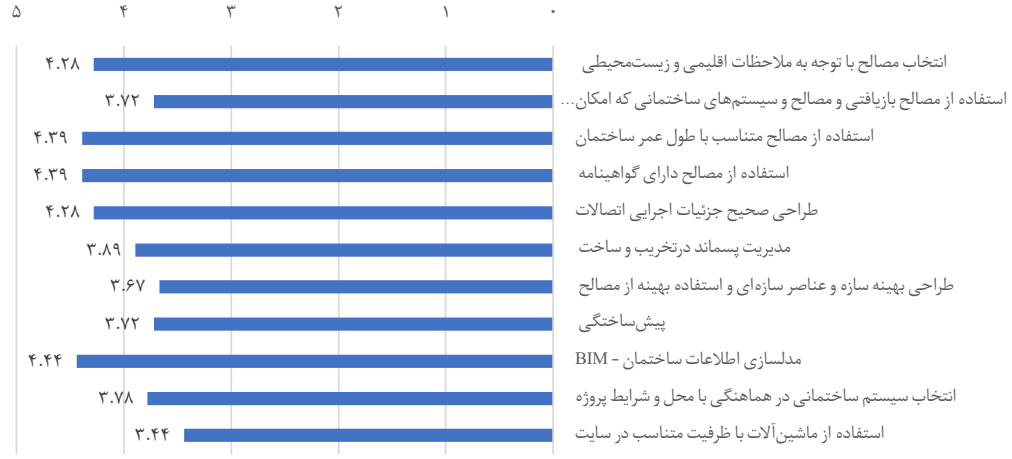
معماران در فرایند طراحی تصمیم‌هایی در رابطه با فرم، جهت‌گیری، سطوح نورگذر و ... می‌گیرند. این تصمیمات کیفیت ساختمان را تعیین کرده و تأثیر قابل‌توجهی بر میزان انتشار طرح نهایی دارند. میانگین وزنی شاخص‌های «معماری ساختمان» با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران در شکل (۴) آورده شده است. مطابق ارزیابی صاحب‌نظران، «طراحی اقلیمی» (میانگین ۴٫۷۸) و «بازاندیشی پیرامون مساحت و جانمایی سطوح شفاف و نورگذر» (میانگین ۴٫۴۴) از اهمیت بالایی برخوردار هستند. با بهینه‌سازی ابعاد سطوح شفاف با توجه به میزان دریافت تابش و روشنایی و تأثیر بر میزان مصرف انرژی می‌توان به این هدف دست یافت. در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ضوابط الزامی طراحی و اجرا در زمینهٔ طراحی اقلیمی و طراحی سطوح شفاف و نورگذر آمده است (دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۹). «جانمایی و زون‌بندی فضاها» که عبارت است از بهینه‌سازی پلان بر اساس نیاز انرژی و گرمای داخلی و «بازاندیشی پیرامون فرم و شکل ساختمان و ارتفاع طبقات» که تأثیر مستقیمی بر میزان مصرف مصالح و مصرف انرژی و انتشار کربن دارند، با میانگین ۴٫۲۲ در دیدگاه صاحب‌نظران در مرتبه بعدی اهمیت است. مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان تعیین‌کننده شکل، حجم و نحوه قرارگیری مجاز ساختمان در زمین و فضای باز آن و مقررات مربوط به حداقل‌های الزامی فضاها و تأمین نور و تعویض هوای آنها و همچنین ضوابط اختصاصی برای تصرف‌های معمول است (دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲). لذا توصیه می‌شود در ویرایش‌های بعدی این مبحث ملاحظات مربوط به «جانمایی فضاها و زون‌بندی»، «بازاندیشی پیرامون فرم و شکل ساختمان و ارتفاع طبقات»، «بازاندیشی پیرامون برنامه فیزیکی و مساحت فضاها و زیربنای ساختمان» که دارای اهمیت بالا در دستیابی به ساختمان کم‌کربن شناخته شدند گنجانده شود. «ترجیح به استفاده از ساختمان‌های موجود» به‌جای تخریب ساختمان فعلی و ساخت ساختمان جدید از اهمیت بالایی برخوردار است. پیشنهاد می‌شود ضوابطی برای بهسازی و استفاده مجدد از ساختمان‌ها تدوین‌شده و با حمایت‌های مالی (معافیت‌های مالیاتی، تخفیف در عوارض و تسریع و تسهیل اعطای مجوز) این کار از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر شود.



شکل ۴. میانگین وزن شاخص‌های معماری ساختمان با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران

مصالح و روش ساخت

با توجه به میزان کربن نهفته در چرخه حیات مصالح، استانداردسازی مصالح بسیار حائز اهمیت است. صاحب‌نظران تأکید داشتند «انتخاب مصالح با توجه به ملاحظات اقلیمی و زیست‌محیطی» (میانگین: ۴٫۲۸)، «بهره‌گیری از مصالح دارای گواهینامه» (میانگین: ۴٫۳۹) و «استفاده از مصالح متناسب با طول عمر ساختمان»(میانگین: ۴٫۳۹) در طراحی ساختمان کم‌کربن اهمیت بالایی دارد. مطابق ماده ۶۰ برنامه ششم توسعه، دولت مکلف شده است به‌منظور اصلاح الگوی مصرف در بخش ساختمان و مسکن، اجرای قانون «برنامه استانداردسازی مصالح و روش‌های مقاوم‌سازی ساختمانی» را به‌صورت کامل اجرایی کند و از تولیدکنندگان و ارائه‌کنندگان مصالح حمایت کند (مجلس شورای اسلامی ۱۳۹۵). با استناد به این ماده می‌توان مشوق‌هایی را برای استانداردسازی مصالح و ایجاد زیرساخت برای صدور گواهینامه تعریف کرد. در حوزه مصالح و روش ساخت، بهره‌گیری از «مدل‌سازی اطلاعات ساختمان» از ابتدای فرایند طراحی تا انتهای عمر ساختمان، به طراحان و سازندگان کمک می‌کند تصویر دقیق‌تری از ارقام و آمار مرتبط با ساختمان داشته باشند. یکی از فواید این کار، تخمین دقیق میزان مصالح مورد نیاز و کاهش میزان دورریز است. صاحب‌نظران اهمیت بهره‌گیری از این امر را به طور میانگین ۴٫۴۴ ارزیابی کرده‌اند. میانگین وزن شاخص‌های مصالح و روش ساخت با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران در شکل (۵) آورده شده است.



شکل ۵. میانگین وزن شاخص‌های مصالح و روش ساخت با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران

بهره‌وری انرژی

وزن کلیه شاخص‌های ذیل بهره‌وری انرژی مطابق شکل (۶)، بالاتر از ۴ ارزیابی شده‌اند که بیانگر اهمیت و نقش بالای بهره‌وری انرژی در کاهش انتشار کربن در ساختمان است. در سند ملی راهبرد انرژی کشور نیز بر افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش «شدت انرژی» در کشور به نصف تا پایان افق چشم‌انداز ۱۴۲۰ تأکید شده است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۶).

مطابق نظر متخصصان، «ارتقای پوسته خارجی ساختمان متناسب با اقلیم» (میانگین: ۴٫۷۲) بیشترین اهمیت را در دستیابی به ساختمان کم‌کربن در ایران دارد. تحقیقات انجام شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی نیز تأثیر ارتقای پوسته خارجی ساختمان در کاهش انتشار کربن را تأیید می‌کند (Abergel *et al*., 2017). «بهره‌گیری از روشنایی روز در فضا» (میانگین: ۴٫۶۱) به کاهش مصرف انرژی الکتریکی برای روشنایی و افزایش کیفیت محیط داخل و ایجاد حس تندرستی در بهره‌برداران کمک شایانی می‌کند. «مدل‌سازی انرژی ساختمان» (میانگین: ۴٫۵۰) به‌منظور ارزیابی تأثیر راهکارهای مختلف بر مصرف انرژی پیش از ساخت می‌تواند در کاهش انتشار کربن در ساختمان نقش مهمی ایفا کند. «بهره‌گیری از سامانه‌های غیرفعال در ساختمان» (میانگین: ۴٫۵۶)، کنترل تجهیزات (میانگین: ۴٫۴۴) و «استفاده از تجهیزات گرمایش و سرمایش با بهره‌وری بالا» (میانگین: ۴٫۴۴) سبب کاهش انتشار کربن در طول دوره بهره‌برداری ساختمان می‌شوند.

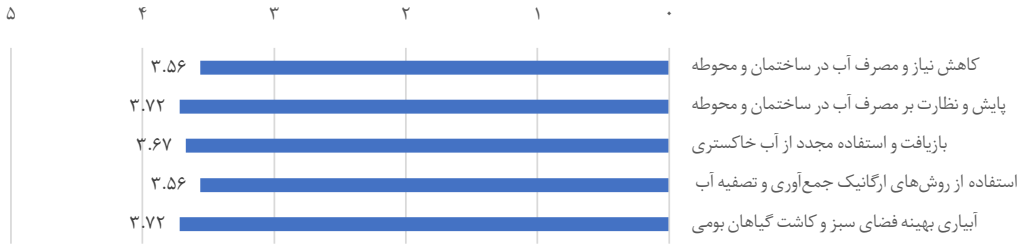
در مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، ضوابط الزامی در طراحی و اجرا در زمینهٔ پوسته خارجی ساختمان، سیستم‌های تأسیسات گرمایی و سرمایی و تهویه مطبوع، تأمین آب گرم مصرفی، تأسیسات برقی و سیستم روشنایی در جهت بهبود عملکرد عناصر و تجهیزات از دیدگاه انرژی و همچنین کاهش نیاز و مصرف انرژی ساختمان ارائه شده است. همچنین در این مبحث، در روش نیاز انرژی و کارایی انرژی، اطلاعات موردنیاز برای مدل‌سازی انرژی ساختمان آمده است (دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۹). در طرح جامع انرژی کشور، رفع موانع در اجرای دقیق و کامل مقررات مبحث ۱۹ قانون صرفه‌جویی انرژی در بخش ساختمان و نظارت بر اجرای آن و نیز تشویق و حمایت از استفاده از فناوری‌های نوین ساختمانی با رویکرد کاهش مصرف انرژی تأکید شده است. به‌منظور تأمین مالی اجرای طرح‌های انرژی و صرفه‌جویی انرژی استفاده از ظرفیت‌های قانونی ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید پیشنهاد شده است (وزارت نفت و نیرو، ۱۳۹۹).

شکل ۶. میانگین وزن شاخص‌های بهره‌وری انرژی با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران

بهره‌وری آب

تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد منابع آب و انرژی به‌شدت به هم مرتبط هستند. در فرایند تهیه آب آشامیدنی، انتقال آب و تصفیه فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی آب پس از خروج از ساختمان، انرژی مصرف و دی‌اکسید کربن منتشر می‌شود (La Roche, 2017). با توجه به بحران کم‌آبی در کشور، بسیار اهمیت دارد که حوزه بهره‌وری آب در طراحی ساختمان کم‌کربن درنظر گرفته شود. «پایش و نظارت بر مصرف آب در ساختمان و محوطه» (میانگین: ۳٫۷۲) «آبیاری بهینه گیاهان و کاشت گیاهان بومی» (میانگین: ۳٫۷۲) و «بازیافت و استفاده مجدد از آب خاکستری» (میانگین: ۳٫۶۷) مطابق نظر متخصصان از مهم‌ترین عوامل در کاهش انتشار کربن در حوزه بهره‌وری آب هستند. میانگین وزن سایر شاخص‌ها در حوزه بهره‌وری آب در شکل (۷) آورده شده است.

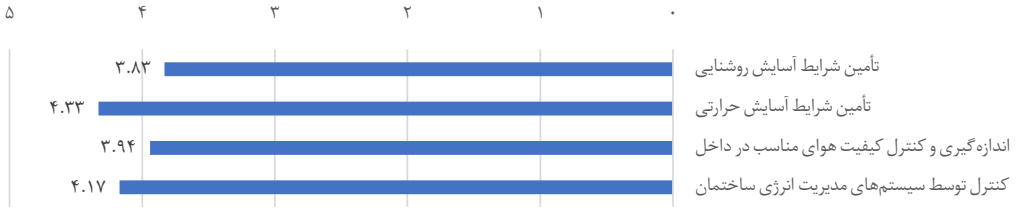
هیئت وزیران «تصویب‌نامه در خصوص الگوی مصرف آب در مصارف مختلف» را تصویب کرده و وزارت نیرو با هماهنگی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مکلف شده است به‌منظور اعمال مدیریت بر مصرف بهینه آب نسبت به تهیه و تدوین معیارها و مشخصات فنی مرتبط با مصرف آب در تجهیزات، فرایندها و سیستم‌های مصرف‌کننده آب، به ترتیبی که مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و واردکنندگان ملزم به رعایت این مشخصات و معیارها باشند، اقدام کند (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). همچنین در آیین‌نامه اجرایی بند ز ماده ۳۷ برنامه توسعه ششم، مصرف آب شرب برای فضای سبز ممنوع اعلام شده است (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۵).



شکل ۷. میانگین وزن شاخص‌های بهره‌وری آب با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران

کیفیت محیط داخل

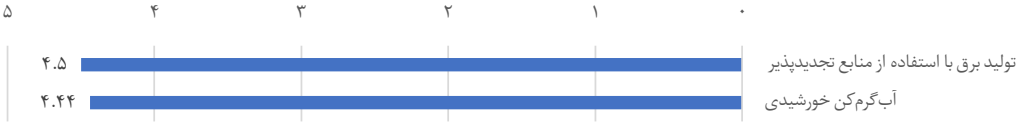
ساختمان کم‌کربن ساختمانی است که میزان انتشار دی‌اکسید کربن کمتری دارد و درعین‌حال آسایش در فضای داخل را نیز تضمین می‌کند (Frank *et al*., 2015). در این حوزه، پس از اجماع میان اعضای پانل دلفی چهار شاخص مورد تأیید قرار گرفت و میانگین وزن شاخص‌ها در شکل (۸) آورده شده است. «تأمین شرایط آسایش حرارتی» (میانگین: ۴٫۳۳) مطابق نظر متخصصان بیشترین تأثیر را در دستیابی به ساختمان کم‌کربن در ایران دارد. درصورتی‌که آسایش حرارتی در فضای داخل تأمین نشود کاربران با انجام رفتارهای پیش‌بینی‌نشده مانند باز کردن پنجره سبب اختلال در سامانه‌های گرمایش و سرمایش ساختمان می‌شوند. در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان حداقل‌های الزامی فضاها برای تأمین نور و تعویض هوای کافی در رابطه با آسایش مطرح‌شده است. تأمین ایمنی، آسایش، بهداشت، بهره‌دهی مناسب و صرفه اقتصادی فرد و جامعه از اصلی‌ترین اهداف این مبحث محسوب می‌شود (دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲).



شکل ۸. میانگین وزن شاخص‌های کیفیت محیط داخل با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران

انرژی تجدیدپذیر

استفاده از انرژی تجدیدپذیر و ارتقای تولید انرژی پاک بر کاهش انتشار کربن تأثیر قابل‌توجهی دارد. با توجه به پتانسیل بسیار بالای کشور ایران از نظر تابش خورشید و پتانسیل بالا در سایر منابع تجدیدپذیر مانند باد و ... در برخی نقاط کشور، بهبود قوانین می‌تواند نقش پررنگی ایفا کند. در ماده ۱۹ قانون هوای پاک وزارت نیرو مکلف شده است نسبت به توسعه، تولید و عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک بهینه، به نحوی اقدام نماید که حداقل ۳۰ درصد افزایش سالانه ظرفیت موردنیاز برق کشور، از انرژی تجدیدپذیر باشد (سازمان ملی محیط زیست، ۱۳۹۶). مطابق نظر اعضای پانل دلفی شکل (۹)، «تولید برق با استفاده از منابع تجدیدپذیر» مانند برق خورشیدی، برق بادی، تولید برق از زیست‌توده و ... (میانگین: ۴٫۵۰) و همچنین «تولید آب‌گرم خورشیدی» (میانگین: ۴٫۴۴) در طراحی ساختمان کم‌کربن اهمیت بالایی دارند.



شکل ۹. میانگین وزن شاخص‌های انرژی تجدیدپذیر با توجه به اهمیت شاخص در طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران

نتیجه‌گیری

با توجه به سهم کشور ایران در تولید دی‌اکسید کربن و تعهدات ملی و بین‌المللی از جمله تعهد اقلیمی پاریس برای کاهش انتشار کربن از یک‌سو و سهم عمده ساختمان‌ها در انتشار کربن و نیز عمر طولانی ساختمان‌ها نسبت به سایر تولیدکنندگان دی‌اکسیدکربن از سویی دیگر، کاهش انتشار کربن در ساختمان‌های ایران اهمیت بسیاری دارد. برای دستیابی به ساختمان کم‌کربن و پیاده‌سازی آن در کشور می‌بایست شاخص‌های مؤثر بر انتشار کربن شناسایی شده و با توجه به شرایط و زیرساخت‌های موجود، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شوند. در این تحقیق ارزیابی شاخص‌ها با استفاده از روش دلفی و با حضور اعضای پانل دلفی از حوزه‌های «سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان»، «پژوهشگران» و «فعالان در صنعت ساختمان» انجام شد. پس از اجماع میان صاحب‌نظران، ۹۴ شاخص در هفت حوزه طبقه‌بندی شد. در حوزه «مکانیابی و سایت» چهار شاخص، «معماری ساختمان» نه شاخص، «مصالح و روش ساخت» یازده شاخص، «بهره‌وری انرژی» ده شاخص، «بهره‌وری آب» پنج شاخص، «کیفیت محیط داخل» چهار شاخص و «انرژی تجدیدپذیر» دو شاخص مورد اجماع اعضای پانل دلفی قرار گرفت. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد با اهمیت‌ترین شاخص‌ها در جهت کاهش کربن در ساختمان از نظر صاحب‌نظران، به‌ترتیب اهمیت «طراحی اقلیمی»، «ارتقای پوسته خارجی ساختمان متناسب با اقلیم»، «بهره‌گیری از روشنایی روز» و «بهره‌گیری از سامانه‌های غیرفعال» است.

نتایج این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران برای تعیین خط‌مشی و ایجاد سیاست‌های تشویقی و الزامات قانونی برای پیاده‌سازی شاخص‌های با اولویت بالاتر کمک کند. همچنین با معرفی اولویت‌بندی شاخص‌های مؤثر بر کاهش انتشار کربن با توجه به شرایط ساختمان‌سازی در کشور، می‌توان به معماران و مهندسان فعال در زمینهٔ ساختمان‌سازی برای طراحی ساختمان‌های کم‌کربن در ایران کمک کند. لازم به توضیح است که در این تحقیق تأثیر شاخص‌ها بر طراحی ساختمان کم‌کربن در سطح کلان سنجیده شده است. توصیه می‌شود در تحقیقات آتی این شاخص‌ها به تفکیک بر اساس کاربری ساختمان در اقلیم‌های مختلف ارزیابی شوند. همچنین تحقیقاتی برای ارزیابی و اولویت‌بندی حوزه‌های مؤثر بر کاهش انتشار کربن انجام شود. تحقیقات میدانی و کمی برای سنجش و پایش میزان مصرف انرژی و انتشار کربن در کاربری‌های مختلف در کشور انجام شود. پس از هدف‌گذاری برای مصرف انرژی و انتشار کربن در ساختمان‌ها با کاربری‌های مختلف، می‌توان یک نقشهٔ راه ملی برای کاهش انتشار کربن در بخش ساختمان تدوین کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهشگران با همکاری سیاست‌گذاران زیرساخت‌های لازم را برای استانداردسازی مصالح، محاسبه و اظهار میزان انتشار کربن و صدور گواهینامه برای مصالح آماده کنند.

پی‌نوشت‌ها

1. IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
2. Low Carbon Building
3. LEED Zero Carbon
4. EDGE Zero Carbon
5. Rounds
6. Interquartile range (IQR)
7. Likert scale
8. Standard Deviation (SD)

منابع

- دفتر امور مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲). مبحث ۴ مقررات ملی ساختمان ایران. تهران: معاونت امور ساختمان و مسکن، وزارت راه، مسکن و شهرسازی. قابل دسترس در http://www.bhrc.ac.ir
- دفتر امور مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲). مبحث ۵ مقررات ملی ساختمان ایران. تهران: معاونت امور ساختمان و مسکن، وزارت راه، مسکن و شهرسازی. قابل دسترس در http://www.bhrc.ac.ir
- دفتر امور مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۹). مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران. تهران: معاونت امور ساختمان و مسکن، وزارت راه، مسکن و شهرسازی. قابل دسترس در http://www.bhrc.ac.ir
- سازمان برنامه و بودجه (۱۳۹۱). سند ملی محیط‌زیست کشور ایران. تهران: سازمان برنامه و بودجه.
- سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۹۴). تصویب‌نامه در خصوص اقدامات مربوط به برنامه مشارکت ملی در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. سازمان حفاظت محیط زیست. قابل دسترس در http://qavanin.ir/Law
- مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۵). برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی پنج‌ساله. مجلس شورای اسلامی. قابل دسترس در https://rc.majlis.ir
- معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۹۸). ترازنامه انرژی ایران سال ۱۳۹۶. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. قابل دسترس در http://pep.moe.gov.ir
- وزارت نیرو (۱۳۸۸). تصویب‌نامه درخصوص الگوی مصرف آب در مصارف مختلف. وزارت نیرو. قابل دسترس در https://rc.majlis.ir

- وزارت نفت و نیرو (۱۳۹۹): طرح جامع انرژی کشور. وزارت نفت و نیرو. قابل دسترس در http://cabinetoffice.ir

- Abergel, T., Dean, B., & Dulac, J. (2017). Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. *Global Status Report In UN Environment and International Energy Agency*. Paris, France 22.

- Akhanova, G., Nadeem, A., Kim, J. R., & Azhar, S. (2020): A multi-criteria decision-making framework for building sustainability assessment in Kazakhstan. *Sustainable Cities and Society,* 52, 101842. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101842.

- Alawneh, R., Ghazali, F., Ali, H., & Sadullah, A. F. (2019): A Novel framework for integrating United Nations Sustainable Development Goals into sustainable non-residential building assessment and management in Jordan. *Sustainable Cities and Society,* 49, 101612. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101612.

- Aldossary, N. A., Rezgui, Y., & Kwan, A. (2015). Consensus-based low carbon domestic design framework for sustainable homes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 51, 417-432. DOI: 10.1016/j.rser.2015.05.070.

- Alyami, S. H. (2019). Critical Analysis of Energy Efficiency Assessment by International Green Building Rating Tools and Its Effects on Local Adaptation. *Arab J Sci Eng,* 44(10), 8599-8613. DOI: 10.1007/s13369-019-03972-x.

- Jackson, R. (2019). *The Global Carbon Project*. Retrieved 10 May, 2019 from http://www.globalcarbonatlas.org

- Baba, A. (2013). *Developing a decision support framework for low carbon housing design and delivery in the UK*. University of the West of England.

- Biernacki, P., & Waldorf, D. (1981). Snowball sampling. Problems and techniques of chain referral sampling. *Sociological methods & research,* 10(2), 141-163.

- Boake, T. M. (2008): The Leap to Zero Carbon and Zero Emissions. Understanding How to Go Beyond Existing Sustainable Design Protocols. *Journal of Green Building,* 3(4), 64-77. DOI: 10.3992/jgb.3.4.64.

- Byrne, J., Taylor, M., Ambrose, M., Berry, S., & Sproul, A. (2019). *Guide to low carbon residential buildings—new build*. Sydney, Australia: Cooperative Research Centre for Low Carbon Living.

- CaGBC (2020). *Zero Carbon Building, design standard*. version 2. Canada: Canada Green Building Council.

- Chan, A. P. C., Yung, E. H. K., Lam, P. T. I., Tam, C. M., & Cheung, S. O. (2010). Application of Delphi method in selection of procurement systems for construction projects. *Construction Management and Economics,* 19(7), 699-718. DOI: 10.1080/01446190110066128.

- Cho, S, & Chae, C. (2016). A study on life cycle CO2 emissions of low-carbon building in South Korea. *Sustainability,* 8(6), 579.

- Clayton, M. J. (1997). Delphi. A technique to harness expert opinion for critical decision-making tasks in education. *Educational Psychology,* 17(4), 373-386.

- Cortina, J. M. (1993). What is coefficient alpha? An examination of theory and applications. *Journal of Applied Psychology,* 78(1), 98-104. DOI: 10.1037/0021-9010.78.1.98.

- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management science,* 9(3), 458-467.

- Dawood, S., Crosbie, T., Dawood, N., & Lord, R. (2013). Designing low carbon buildings. A framework to reduce energy consumption and embed the use of renewables. *Sustainable Cities and Society,* 8, 63-71. DOI: 10.1016/j.scs.2013.01.005.
- Fenner, A. E., Kibert, C. J., Woo, J., Morque, S., Razkenari, M., Hakim, H., & Lu, X. (2018). The carbon footprint of buildings. A review of methodologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 94, 1142-1152. DOI: 10.1016/j.rser.2018.07.012.
- Frank, O.L., Omer, S. A., Riffat, S. B., & Mempouo, B. (2015). The indispensability of good operation & maintenance (O&M) manuals in the operation and maintenance of low carbon buildings. *Sustainable Cities and Society,* 14, e1-e9.
- Fthenakis, V. M. (2000). End-of-life management and recycling of PV modules. *Energy Policy,* 28(14), 1051-1058. DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00091-4.
- Gracht, H. A. (2012): Consensus measurement in Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change,* 79(8), 1525-1536. DOI: 10.1016/j.techfore.2012.04.013.
- Herrero-Garcia, V. (2014). *Minimizing carbon offset purchase. A framework for the reduction of greenhouse gas emissions in the building sector*. Philadelphia University.
- Hildebrand, L. (2014). *Strategic investment of embodied energy during the architectural planning process*. tu delft.
- Hill, R.C., & Bowen, P.A. (1997). Sustainable construction. Principles and a framework for attainment. *Construction Management and Economics,* 15(3), 223-239. DOI: 10.1080/014461997372971.
- IEA (2012). CO_2 emissions from Fuel Combustion. *International Energy Agency,* 13, 2895-2902.
- IFC (2020). EDGE Buildings. Available online at https://edgebuildings.com/, updated on 2020-11-12T15:57:47Z, checked on 3/28/2021.192Z.
- Jones, P. (2009). Low Carbon Building Design. European Experience [J]. *Architecture Technique,* 12, 25.
- Kamaruzzaman, S. N., Lou, E. C. W., Wong, P. F., Edwards, R., Hamzah, N., & Ghani, M. K.(2019). Development of a non-domestic building refurbishment scheme for Malaysia. A Delphi approach. *Energy,* 167, 804-818. DOI: 10.1016/j.energy.2018.11.020.
- Kang, H., Lee, Y., & Kim, S. (2016). Sustainable building assessment tool for project decision makers and its development process. *Environmental Impact Assessment Review,* 58, 34-47. DOI: 10.1016/j.eiar.2016.02.003.
- La Roche, P. (2017). *Carbon-neutral architectural design*. Boca Raton: CRC Press.
- Linstone, H., & Turoff, M. (1975a). The delphi method. *Addison-Wesley Reading*, Massachusetts.
- Linstone, H.A., & Turoff, M. (1975). The delphi method. *Reading, MA: Addison-Wesley,* 3-12.
- Looman, R. (2017). *Climate-responsive design. A framework for an energy concept design-decision support tool for architects using principles of climate-responsive design*. PhD dissertation. TU Delft, Architecture and the Built Environment
- Luo, T., Tan, Y., Langston, C., & Xue, X. (2019). Mapping the knowledge roadmap of low carbon building. A scientometric analysis. *Energy and Buildings, 194,163-176* . DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.03.050.

- Manoliadis, O., Tsolas, I., & Nakou, A. (2006). Sustainable construction and drivers of change in Greece. A Delphi study. *Construction Management and Economics,* 24(2), 113-120. DOI: 10.1080/01446190500204804.
- OECD (2017). *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017*. OECD Publishing.
- Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool. An example, design considerations and applications. *Information & management,* 42(1), 15-29.
- Pan, W., & Pan, M. (2018). A dialectical system framework of zero carbon emission building policy for high-rise high-density cities : Perspectives from Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*, 205, 1-13.
- Pomponi, F., Moncaster, A., & Wolf, C. (2018). Furthering embodied carbon assessment in practice. Results of an industry-academia collaborative research project. *Energy and Buildings,* 167, 177-186. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.02.052.
- Roufechaei, K. M., Hassan Abu Bakar, A. & Tabassi, A. A. (2014). Energy-efficient design for sustainable housing development. *Journal of Cleaner Production,* 65, 380-388. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.09.015.
- Rowe, G., & Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool. Issues and analysis. *International Journal of Forecasting,* 15(4), 353-375. DOI: 10.1016/S0169-2070(99)00018-7.
- Sattary, S. (2017). *Potential Carbon Emission Reductions (PCER) in Australian Construction Systems through the Use of Bioclimatic Design Principles*. University of Southern Queensland.
- Shi, Q., Yu, T., & Zuo, J. (2015). What leads to low-carbon buildings? A China study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 50, 726-734. DOI: 10.1016/j.rser.2015.05.037.
- Shields, T. J., Silcock, G. W. H., Donegan, H. A., & Bell, Y. A. (1987). Methodological problems associated with the Use of the Delphi technique. *Fire Technol,* 23(3), 175-185. DOI: 10.1007/BF01036934.
- Tiwari, R. (2015). *A Decision-Support Framework for Design of Non-Residential Net-Zero Energy Buildings*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). Zero energy buildings. A critical look at the definition. *National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US*.
- UKGBC (2019). *Net Zero Carbon Buildings*. UK Green Building Council.
- UNEP (2009). *Common Carbon Metric for Measuring Energy Use & Reporting Greenhouse Gas Emissions from Building Operations*. In United Nations Environment Programme (*UNEP*) (500), 1000.
- UNFCCC (2015). *The Paris Agreement. Retrieved* 06 April, 2019 from https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement
- USGBC Organization (2020). *LEED Zero Program Guide*. Retrieved 15 July, 2020 from https://www.usgbc.org/resources/leed-zero-program-guide.
- Witkin, B. R., & Altschuld, J. W. (1995). *Planning and conducting needs assessments*. A practical guide : Sage.
- Yang, Y., Li, B., & Yao, R. (2010). A method of identifying and weighting indicators of energy efficiency assessment in Chinese residential buildings. *Energy Policy,* 38(12), 7687-7697. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.08.018.

- Zapata Poveda, M. G. (2014). *An investigation of the tools and situated learning in non-domestic low carbon building design*. Cardiff University.
- Zarghami, E., Fatourehchi, D., & Karamloo, M. (2019). Establishing a region-based rating system for multi-family residential buildings in Iran. A holistic approach to sustainability. *Sustainable Cities and Society,* 50, 101631. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101631.
- Zhou, Y., Clarke, L., Eom, J., Kyle, P., Patel, P., & Kim, S. H. (2014). Modeling the effect of climate change on US state-level buildings energy demands in an integrated assessment framework. *Applied Energy,* 113, 1077-1088.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Architecture and Urban Planning. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوه ارجاع به این مقاله

ابوالحسنی، نوشین؛ فیاض، ریما؛ مستغنی، علیرضا و قصاب ستاری، ستار (۱۴۰۲). ارزیابی شاخص‌های مؤثر بر طراحی ساختمان کم‌کربن در ایران. *نشریه علمی نامه معماری و شهرسازی*، ۱۶(۴۰)، ۵-۲۵.

DOI: 10.30480/AUP.2022.2913.1585

URL: http://aup.journal.art.ac.ir/article_1083.html

Received: 09 August, 2021 | Accepted: 04 February, 2022 | Published: 23 September, 2023

Journal of Architecture and Urban Planning, 16(40), 5-25

DOI: 10.30480/AUP.2022.2913.1585

Document Type: Research Paper

Assessment of Design–Effective Low–Carbon Building Criteria in Iran

Nooshin Abolhasani

Ph.D. Candidate of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

Rima Fayaz

Professor, Department of Architecture and Energy, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran (Corresponding Author)

Alireza Mostaghni

Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

Sattar Ghasab Sattari

Assistant Professor, Department of Civil Engineering and Surveying, University of Queensland, Queensland, Australia

Abstract

Iran is one of top ten CO2 emitting countries in the world and as a signatory of the Paris Agreement, has to reduce 4–8 percent of the overall CO2 emissions by 2030. The building sector is one of the most cost–effective opportunities for CO2 emission reduction. Low–carbon buildings are designed and constructed to emit very little carbon during their lifecycle. This research aims to identify appropriate categories and criteria for assessing low–carbon building in Iran. These criteria were assessed using Delphi technique in multiple rounds. Thus, in this study, 30 Iranian experts were selected based on their experiences in the building construction industry and building sustainability assessment to participate in the Delphi process. The experts were selected from different backgrounds: one–third from consultant companies, one–third from government authorities, and the remaining third from institutions and universities. The “interquartile range” and “Standard Deviation” were selected to measure the consensus and “Mean” was used to assess the importance of each criterion. Ninety–four criteria were classified into seven categories which are location and site, architecture, material and construction, energy efficiency, water efficiency, indoor environmental quality, and renewable energy. The most important criteria are "environmental design" and " improvement of the building envelope". This paper reviews policy, laws, regulations, and standards to understand the implementation platform of important criteria in each category:

- Location and site: It is recommended that low–carbon criteria be considered in the future national planning and land master plans.
- Architecture: There are regulations such as Code No. 19 (energy efficiency in buildings) and Code No. 4 (General building requirements) of Iranian national building regulations. It is proposed that in the future editions of Code No. 4, low–carbon building criteria such as "rethinking the form and shape of the building and height of stories" and "rethinking zoning and space planning" should be considered.
- Material and construction: There is an official policy incentive to the standardization of materials. Code No. 5 of Iranian national building regulations (Materials and building components) has environmental, health, and safety implementation requirements for conventional materials.
- Energy efficiency: Code No. 19 of Iranian national building regulations represents rules for the design and implementationof important criteria and there are legal incentives and governmental funds for implementation of Code No. 19.
- Water efficiency: There is an official policy incentive for optimization and monitoring of water consumption in different building types.
- Indoor environmental quality: It is recommended to compile thermal and visual comfort standards for buildings.
- Renewable energy: Iran has a great potential for renewable energy, but it is not economically viable. There are regulations and standards for implementing renewable energy.

The output of this research is identification of low–carbon building criteria and assessment of the importance of each criterion based on the country's context. It would help architects to deliver the low–carbon design and it is useful for policymakers to direct building industry to a low–carbon future.

Keywords: Low–carbon building, sustainable architecture, Delphi technique, zero carbon, climate change