مجله علمی
مدیریت نوآفرینی
Innovation management

مدیریت ریسک پیاده سازی مفهوم "ساختمان با کربن صفر" بعنوان نسل جدید سازگاری با محیط زیست در صنعت ساختمان

امین زاهدی خامنه [۱]، علی پایدار [۱]، عباس تاج الدینی [۲*]، حسن ذوقی [۲]، سعید بوالحسنی [۳]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

چکیده

امروزه ساختمان‌های بدون کربن، به یکی از موضوعات داغ پژوهشی با هدف کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت ساختمان سازی تبدیل شده است. ساختمانِ کربن صفر می‌تواند نمودی از کربن زدایی باشد، بدین صورت که انرژی تجدید پذیر در داخل کارگاه تولید شده و به اندازه مصرف وارد شبکه می‌گردد. ساختمانِ با کربن صفر یعنی اینکه ساختمان به اندازه کافی انرژی تجدید پذیر تولید می‌کند تا هم نیاز سالیانه‌اش را بر طرف سازد و هم آن مقدار کربنی که در فرآیند ساخت منتشر شده را جبران نماید. به همین منظور، در این مطالعه به بررسی ریسکها و محدودیت‌های پیش روی سیاست‌گذاری برای ساختمان‌های با کربن صفر پرداخته می‌شود. ابتدا با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره شامل واسپاس، تاپسیس و رتبه‌بندی میانگین ریسک‌های پیاده سازی سیاست‌های ساختمان‌های کربن صفر شناسایی و ارزیابی شده و در ادامه، پیشنهاداتی به منظور توسعه و ارتقای ساختمان‌های با کربن صفر ارائه می‌گردد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به عنوان یک راهنما برای دولت‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این یافته‌ها به سیاست‌گذاری و تدوین آیین‌نامه‌های ساختمانی موثرتر و کارآمدتر در حوزه ساختمان‌سازیِ تقریبا با کربنِ صفر کمک می‌کند، که هدف آن کاهش انتشار کربن در صنعت ساختمان است. با توجه به رشد سریع شهرنشینی و بهبود استانداردهای زندگی، انتظار می‌رود که در آینده نزدیک مصرف انرژی و انتشار آلاینده های کربنی افزایش یابد.

کلیدواژه‌ها

ساختمان با کربن صفر؛ شناسایی و ارزیابی ریسک؛ تصمیم گیری چند معیاره؛ روش واسپاس

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس

* **نویسنده مسئول: عباس تاج الدینی**

ایمیل: A.tajaddini@kiau.ac.ir

۱. استادیار گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی عمران، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۳. کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

مقدمه

صنعت ساختمان بالغ بر یک ســـوم میزان آلودگی های ناشی از انتشار کربن را در جهان به خود اختصاص داده است. انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت ساختمان در حالی در سال ۲۰۱۸ برای دومین سال پیاپی ۲ درصد افزایش پیدا کرده است و به مقدار ۹,۷ گیگاتن دی‌اکسید کربن رسیده است، که این روند بین سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ بدون تغییر بوده است [۱]. کاهش میزان آلودگی کربن در این صنعت به عنوان یک اولویت اصلی در توسعه پایدار در نظر گرفته می شود که تاثیر بسزایی در کاهش تاثیرات زیست محیطی، تامین امنیت انرژی، و ایجاد یک بستر مناسب جهت حفظ کیفیت زندگی مردم دارد. اگرچه کاهش سرانه مصرف انرژی و آلایندگی ناشی از فعالیت های ساختمانی به عنوان یک اولویت مطرح می شود اما باید به این نکته توجه نمود که متوقف کردن فعالیت های عمرانی نبایستی به عنوان یک ابزار جهت رسیدن به این هدف تعیین گردد، چرا که عامل اصلی توسعه اقتصادی فعالیت‌های عمرانی می باشد که باعث ایجاد بستر مناسب جهت رشد و نمو زیرساخت‌ها می گردد.

فرمند [۲] در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی که به شکل توصیفی-تحلیلی انجام شده به طراحی محله‌ی شهری با رویکرد کم کربن و بدون کربن پرداخت و بیان کرد که بحران‌های زیست محیطی، نظیر افزایش آلودگی و تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش جمعیت و مصرف بالای انرژی، کیفیت زندگی در محیط‌های شهری را تنزل داده است. همچنین، جعفری هفشجانی [۳] در سال ۱۳۹۶ در پژوهشی با عنوان اولویت بندی سامانه‌های فعال خورشیدی برای دستیابی به ساختمان مسکونی صفر-کربن در اقلیم گرم و خشک که بصورت توصیفی انجام شد راهکارهایی را برای ساختمان های مسکونی کوتاه مرتبه ارایه داد. مستأجران [۴] در سال ۱۳۹۳ در پژوهشی توصیفی، نحوه کاهش مصرف انرژی در یک بافت شهری و شاخص‌های آن را ارائه نمود تا با استفاده از این شاخص‌ها، محدوده مطالعاتی (بافت محله صائب) از نظر وضعیت تولید کربن مورد ارزیابی قرار گیرد. در نهایت نیز با استفاده از ارزیابی انجام شده، راهنمای طراحی برای بهبود وضعیت هر یک از شاخص‌ها در بافت مذکور ارائه شد. یار محمد [۵] در سال ۱۳۹۷ در مقاله ای به تبیین اصول طراحی پوسته ساختمان های بلند مرتبه کربن صفر جهت کاهش انتشار دی‌اکسید کربن پرداخت.

پن [۶] در مقاله ای در سال ۲۰۱۹ به بررسی فرصت ها و چالش‌های ساختمان‌های کربن صفر پرداخت که در آن عوامل موثر در پیاده سازی ساختمان‌های کربن صفر (از جمله فاکتورهای تاثیرگذار نظیر اقتصادی، فنی و قانونی) شناسایی شد. مارتیسکینن و کیویما [۷] در مقاله ای در سال ۲۰۱۷ بیان کردند که برای ساخت خانه‌هایی با میزان کربن صفر ایجاد نوآوری در سیستم‌های موجود ساختمان‌ها و بکارگیری راهکارهای جدید از جمله استفاده از مواد و مصالح به‌روز، عایق کاری، تهویه، بازیابی حرارتی و ژنراتورهای با انرژی‌های تجدید پذیر لازم می‌باشند. همچنین گریپ و همکارانش [۸] در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی با عنوان بررسی پروژه‌های ساختمانی با مصرف انرژی صفر به واکاوی درس‌های آموخته از اجرای این پروژه‌ها در سه شهر آمستردام، هلسینبرگ و لیون پرداختند.

در پژوهشی فونگ‌بویی و همکارانش [17] در سال ۲۰۲۲ چالشهای پیاده سازی ساختمان کربن صفر را در نیوزیلند مطالعه کردند. از طریق مصاحبه با خبرگان ایشان دریافتند که چالشهای مهمی در این زمینه وجود دارد که عبارتند از: مشکلات مالی، کمبود دانش، ظرفیت و توانمندی، ناکارآمدی قانون، و موانع فرهنگی. مهمترین نگرانی امر نیز توانایی صنعت ساختمان نیوزیلند در اجرای ساختمان کربن صفر در طول زنجیره ارزش می باشد. در پژوهشی دیگر (۲۰۲۲) اوهه‌ته و همکارانش [18] یک مطالعه ی مروری جامع بر روی موانع و چالشهای پیاده سازی ساختمانهای کربن صفر انجام دادند. بر اساس نظرات خبرگان و استفاده از روش فازی بهترین-بدترین[1] موانع شناسایی شده اولویت بندی شدند که بر همین اساس موانع قانونی، اقتصادی و فنی بالاترین رتبه ها را به خود اختصاص دادند. در دیگر پژوهش در سال ۲۰۲۳، چالشها و ریسک‌های بهره‌گیری از

[1] Best-Worst Method

سیاست ساختمان کربن صفر در یک مطالعه ی مروری توسط کومار و همکارانش [19] بررسی شده است. با استفاده از نظر خبرگان و روشهای تحلیلی بهترین-بدترین و نیز دیماتل[1]، آنها نشان دادند که محدودیت های اقتصادی، زیرساختی، و بهره برداری به ترتیب بیشترین اهمیت را در بین سایر گزینه های پژوهش در تحقق کربن صفر دارند.

پن در سال ۲۰۲۱ [20] امکان‌پذیری و مقبولیت عمومی توسعه‌ی ساختمانهای کربن‌صفر در محیطهای متراکم شهری با ساختمانهای بلندمرتبه را بررسی کرد. با هدف شناسایی مشوق ها، موانع و راهبردهای ممکن برای این موضوع در کشور هنگ کنگ، از ۲۱۹ خبره نظرسنجی شد. برهمین اساس، مهمترین موارد شناسایی شده به ترتیب عبارت بودند از: عوامل اقتصادی، قانونی، فرهنگی، زنجیره تامین، جغرافیایی، و موارد مرتبط با مهارت و آگاهی افراد. اوهه‌نه و همکارانش (۲۰۲۲) در تحقیقی [21] بطور مفصل تعداد زیادی از مقالات حوزه ی بهره وری انرژی و کربن صفر را مرور کردند و موارد نقص دانش در حوزه مربوطه را شناسایی کردند. آنها نشان دادند که بهترین گزینه ها برای تحقق انتشار کمینه کربن عبارتند از: مقاوم‌سازی و افزایش طول عمر سازه های موجود، ارتقاء فرهنگ کربن صفر در محیطهای شهری، ارایه مدلهای تجاری موفق و ابتکاری برای توسعه‌ی کربن‌صفر، و ترغیب و مشارکت سهامداران و ذی‌نفعان صنعت ساختمان در توسعه‌ی ساختمان کربن صفر.

مقاله‌ی حاضر به بررسی ریسک‌ها و محدودیت‌های پیش روی سیاست‌گذاری برای ساختمان‌های با کربن صفر می‌پردازد. به این منظور، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شامل واسپاس[2]، تاپسیس[3] و روش رتبه‌بندی میانگین به شناسایی و ارزیابی ریسک‌های پیاده سازی سیاست‌های ساختمان‌های کربن صفر اقدام میشود که شامل: بررسی وضعیت کنونی، درک جزییات سیاست‌گذاری‌ها و بررسی آیین‌های ساختمانی در حوزه ساختمان با کربن صفر می‌باشد. همچنین، در ادامه پیشنهاداتی به منظور توسعه و ارتقای احداث ساختمان‌های با کربن صفر، ارائه می‌گردد.

مفهوم ساختمان با کربن صفر

در سال ۲۰۱۸، میزان ۳۶ درصد کل مصرف انرژی و همچنین ۳۹ درصد تولید دی‌اکسید کربن متعلق به صنعت ساختمان سازی بوده است. ۱۱ درصد این مقدار ناشی از تولید مصالح ساختمانی نظیر فولاد، سیمان و شیشه بوده است. عبارت کربن صفر به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که از انرژی های تجدید پذیر استفاده می کند. ساختمان های با مصرف انرژی پایین و یا صفر توسط آیین‌نامه‌های ساختمانی و یا در ارتباط با استانداردهای انرژی تعریف می شوند. تفاوت زیادی در چگونگی ایجاد بهره‌وری وجود دارد که به این بستگی دارد که این میزان چگونه با الزامات بهره وری انرژی ساختمان‌ها یا استانداردهای کلی ساختمان‌های جدید تنظیم شود. یک ساختمان می‌تواند به عنوان یک ساختمان کم مصرف در یک کشور طبقه‌بندی گردد، در حالی که ممکن است همین ساختمان از انرژی بیشتری نسبت به یک ساختمان ساخته‌شده استاندارد در یک کشور همسایه استفاده کند. در برخی از کشورها استانداردهای مصرف انرژی مبهم است و ممکن است برای تمام ساختمان‌هایی بکار رود که شرایط بالاتری از حداقل استاندارد را دارا می باشند.

در نگاه کلی، یک ساختمان با استانداردهای مناسب کربن صفر باید در ابتدا به صرفه جویی در انرژی تشویق شود و سپس از منابع تجدیدپذیر موجود در منطقه استفاده کند. هدف اول موضوع کاهش تقاضای انرژی می‌باشد. طراحی خورشیدی غیرفعال بجای نصب سلول‌های خورشیدی بر روی یک ساختمان معمولی ناکارآمد از نظر هزینه موثرتر می‌باشد. ویژگی‌های مشترک بهره وری از انرژی شامل: روشنایی روز، روشنایی کلی، وسایل وتجهیزات، تهویه مطبوع، کنترل و سنسورها، عایق‌بندی و مدیریت انرژی می‌باشد [۱]. اگرچه در این باره نیازمند اهداف بلند پروازانه‌تری هستیم، اما در حال حاضر نیز سیاستگذاران، طراحان، ساختمان سازها و سایر فعالان صنعت ساختمان در حال اتخاذ اقداماتی در جهت کربن زدایی از صنعت ساختمان و افزایش عملکرد انرژی هستند [۹]. هرچه کشورهای بیشتری اقدام به تدوین سند تعهدات ملی در این حوزه کنند، اهداف بلند پروازانهِی صنعت ساختمان گام های بیشتری رو به جلو برخواهد داشت. با توجه به حساس بودن مبحث ریسک در تحقق

[1] DEMATEL
[2] WASPAS
[3] TOPSIS

ساختمان‌های با کربن صفر، توجه اساسی به مدیریت ریسک در هنگام اتخاذ تصمیم در مورد چالش‌های پیش روی اینگونه سیاست‌ها بسیار حائز اهمیت است. از دیدگاه نظری، یک قانونگذار میتواند از طریق انتخاب راهکارهای گوناگونی که در رسیدن به سیاست های تنظیم شده خود در پیش می گیرد، یکسری از ریسک های مشخص را حذف کند. با این وجود، ریسک‌های ناشناخته‌ای هنوز وجود دارند که بدرستی بررسی و رتبه بندی نشده اند. کاربرد این نظریه باعث کم شدن یا حذف ریسک های یک برنامه به تنهایی نخواهد شد، چرا که هر برنامه دارای یکسری از ریسک های ذاتی بوده که تحت هر شرایطی همراه آن هستند. استفاده از این روش سبب می شود پیاده سازی اینگونه سیاست‌ها به طور کلی دارای ریسک و خطرات کمتری باشد.

جهت تهیه یک سیستم مطلوب برای مدیریت ریسک، پژوهش‌های زیادی در سرتاسر دنیا صورت پذیرفته است. از جمله آنها می‌توان به فعالیت گروه تحلیل و مدیریت ریسک پروژه اشاره کرد. آنها فرآیند مدیریت ریسک را در ۸ مرحله (شامل: تعریف، تمرکز، شناسایی ساختار، مالکیت، تخمین، ارزیابی، برنامه ریزی و مدیریت) تعریف کرده اند. راهنمای تحلیل و مدیریت ریسک پروژه در سال ۱۹۹۸ برای اولین بار با همکاری مشترک موسسه مهندسین عمران و دانشگاه اکتواریس ارائه گردید. مدیریت ریسک در استاندارد بین المللی آیزو[1] شامل ۲۹ عنوان بوده که در چهار گروه: ۱. موارد پایه، ۲. موارد مرتبط با سازمان، ۳. موارد مرتبط با ارزیابی ریسک، و ۴. موارد مربوط به کنترل و پاسخ‌گویی به ریسک دسته بندی شده اند. در این زمینه، استانداردهای زیاد دیگری نیز بحث مدیریت ریسک را مورد توجه قرار داده اند. مهمترین این استانداردها عبارتند از:

- موسسه مدیریت پروژه[2]، پیکره دانش مدیریت پروژه[3].
- انجمن مدیریت پروژه انگلستان (۱۹۹۷)، راهنمای PRAM .
- مدیریت ریسک پروژه، راهنماهای کاربردی IEC 62198 (2001) .
- سازمان بازرگانی دولتی انگلستان (OGC)، (۲۰۰۲). مدیریت ریسک .

اهداف تمامی روش‌های ارائه شده، بالا بردن بازدهی پروژه‌ها می‌باشد. تفاوت عمده سیستم‌های مدیریت ریسک در انتخاب روش‌های شناسایی، آنالیز، پاسخ‌گویی و کنترل ریسک می باشد که به دنبال خود تفاوت در بحث مدیریتی موضوع را سبب می گردد. [۱۰]

ارزیابی و رتبه بندی ریسک‌ها

ارزیابی و رتبه بندی ریسکهای پیاده سازی سیاست های کربن صفر در ساختمان ها عبارت است از رتبه بندی ریسکهای شناسایی شده به منظور اقدامات آتی با تمرکز بر روی ریسکهای با ارجحیت بیشتر. پس از ارزیابی و رتبه بندی ریسک ها با توجه به انتخاب معیارهای موثر، لیستی از ریسکها به ترتیب اولویت اهمیت و تاثیرگذاری بر اهداف آن حوزه تهیه می‌گردد. از این لیست در پژوهش های آتی به منظور برنامه ریزی پاسخ به ریسک استفاده خواهد شد [۱۱]. گام بعدی پس از تجزیه و تحلیل ریسک در فرآیند مدیریت ریسک، برنامه ریزی پاسخ به ریسک میباشد. در حین برنامه ریزی باید مواردی را مد نظر داشت. یکی از عوامل تاثیرگذار در انتخاب اقدامات موثر در کاهش ریسک، محاسبه هزینه اجرای این اقدامات و همچنین هزینه ای است که در صورت عدم اجرای آن اقدام رخ خواهد داد. در این مرحله بایستی به دقت هزینه ناشی از عدم اجرای اقدامات کاهشی را در کلیه سطوح اجرایی مورد بررسی قرار داد. دلیل این امر نیز این است که ریسکها در صورت وقوع به ندرت تنها بر روی یک حوزه تاثیر می گذارند و اغلب تاثیر آنها در حوزه های سطوح پایین تر و بالاتر نیز مشاهده میشود [۱۱]. در این مرحله لازم است که اجرای این اقدامات به خوبی پایش و کنترل گردند. هدف از انجام پایش و کنترل ریسک عبارت است از:

- اطمینان از اینکه فرضیات انجام شده هنوز درست هستند؛

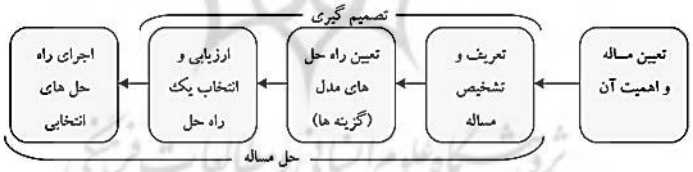
[1] ISO
[2] PMI
[3] PMBOK

- کنترل تغییرات به وقوع پیوسته در وضعیت ریسکها؛
- انجام صحیح اقدامات کاهش ریسک؛
- اصلاح هزینه ها و یا ذخیره های احتیاطی در صورت لزوم ؛
- مرور شرایط وقوع ریسک و اجرای اقدامات جدید در صورت لزوم؛
- آنالیز مجدد ریسکهای موجود ؛
- شناسایی، تجزیه و تحلیل و برنامه ریزی ریسکهای جدید [۱۲]؛

فرآیند تصمیم گیری برای مدیریت ریسکها

تصمیم گیرنده طی فرآیند تصمیم به انتخاب راهی از بین راههای موجود اقدام می‌کند. این انتخاب به معنای نحوه بکارگیری منابع و امکانات قرارگرفته در اختیار مدیر در راستای هدف تصمیم گیری می باشد. از این رو مدل تصمیم گیری شامل انتخاب یک استراتژی از بین استراتژی های متعدد موجود می باشد [۱۳]. تئوری مطلوبیت که توسط اقتصاددانان ارائه گردیده است کاربرد عمده ای در چگونگی تصمیم گیری دارد. بر مبنای این اصل می توان راه حل های مختلف یک مشکل را توسط راه حلی که دارای بیشترین مطلوبیت باشد به عنوان مناسب ترین استراتژی انتخاب کرد. در عمل تصمیم گیری، طرحی که برای کنترل متغیرهای موثر در رسیدن به اهداف تصمیم لازم است استراتژی نامیده می شود و دلیل کنترل متغیرها نیز کوشش در رسیدن به اهداف تصمیم است [۱۳]. هدف تصمیم را متغیر وابسته و سایر متغیرهای موثر را متغیرهای مستقل می نامند. به طور کلی فرآیند تصمیم گیری شامل مراحل زیر می باشد [۱۳]:

- تعیین مساله و اهمیت آن
- تعریف و تشخیص مساله
- تعیین راه حل های جایگزین
- ارزیابی و انتخاب یک راه حل
- اجرای راه حل انتخابی



شکل ۱. فرآیند کلی تصمیم گیری [۱۳]

تکنیک اولویت بندی با روش واسپاس[1]

روش واسپاس متشکل از سه مرحله اصلی می باشد [۱۴]. اولین مرحله از این روش، پیروی از مدل شناخته شده ی جمع وزنی[2] و یافتن مقدار Q_i^1 می باشد که مطابق معادله (۱) در نظر گرفته می شود.

(۱) $Q_i^1 = \Sigma_{j=1}^{n} \overline{x_{ij}}\, w_j$

که در آن w_j وزن معیار j ام و $\overline{x_{ij}}$ مقدار نرمال شده گزینه i تحت معیار j می باشد که اگر معیار j از نوع مثبت باشد نرمال سازی خطی به استفاده از رابطه (۲) انجام خواهد شد:

(۲) $\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{max_i x_{ij}}$

در حالت دیگر اگر معیار j از نوع منفی باشد، نرمال سازی خطی با استفاده از رابطه (۳) انجام خواهد شد:

(۳) $\bar{x}_{ij} = \frac{min_i x_{ij}}{x_{ij}}$

[1] WASPAS: Weighted Aggregated Sum Product Assessment
[2] WSM: Weighted Sum Model

مرحله بعدی در رتبه بندی گزینه ها در روش واسپاس پیروی از مدل ضرب وزنی[1] می باشد و مقدار آن از رابطه (۴) قابل دستیابی است:

$$(۴) Q_i^2 = \Pi_{j=1}^{n} \overline{(x_{ij})}^{wj}$$

مرحله نهایی محاسبات، یافتن ارزش گزینه i می باشد که این پارامتر از طریق معادله (۵) حاصل می شود:

$$(۵)\ Q_i = \lambda Q_i^1 + (1-\lambda) Q_i^2 . \lambda = 0. \ldots .1$$

زمانیکه $\lambda = 0$ باشد، مدل واسپاس به صورت ضرب وزنی و زمانی که $\lambda = 1$ باشد، رفتار واسپاس به صورت جمع وزنی خواهد بود. باتوجه به این امر که جهت یافتن مقدار λ بهینه در میان محققین نظر جامعی وجود ندارد لذا در اکثر ارزیابی ها با روش واسپاس یک حالت برای λ در نظر گرفته می‌شود، در این پژوهش نیز سه حالت (۱، ۰/۵، ۰) برای λ در نظر گرفته شده است که در ادامه به ارزیابی هر سه حالت پرداخته شده است. [۱۵]

تکنیک اولویت بندی با روش تاپسیس[2]

با توجه به مدل ترکیبی استفاده شده در این پژوهش جهت رتبه بندی ریسک ها که شامل روش تاپسیس نیز می گردد، در این بخش به ارائه مبانی این روش پرداخته خواهد شد. مدل تاپسیس توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد. این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه حل ایده آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه حل ایده آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد [۱۵]. مراحل حل مساله با استفاده از این روش عبارتست از:

- محاسبه ماتریس بی مقیاس شده به روش نُرم N
- محاسبه ماتریس اوزان با یکی از روش های وزن دهیW
- محاسبه ماتریس بی مقیاس موزون V

$$(۶)\ V = N \times W_{(n\times n)}$$

- راه حل ایده آل مثبت V_j^+ = بزرگترین مقدار برای شاخص های مثبت و کوچکترین مقدار برای شاخص های منفی. به عبارتی برداری متشکل از بهترین مقادیر برای هر شاخص تشکیل می دهیم.
- راه حل ایده آل منفی V_j^- = بزرگترین مقدار برای شاخص های منفی و کوچکترین مقدار برای شاخص های مثبت. به عبارتی برداری متشکل از بدترین مقادیر برای هر شاخص تشکیل می دهیم.
- محاسبه فاصله اقلیدسی هر گزینه تا ایده آل های مثبت و منفی.

$$(۷)\quad d_i^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^{+})^2}\ ,\quad i = 1,2,3,\ldots..,m$$

$$(۸)\ d_i^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^{-})^2}\ ,\quad i = 1,2,3,\ldots..,m$$

- تعیین نزدیکی نسبی یک گزینه به راه حل ایده آل:

$$(۹)\ CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

- رتبه بندی گزینه ها بر اساس CL بزرگتر.

[1] WPM: Weighted Product Model
[2] TOPSIS: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

طیف امتیازدهی لیکرت[1]

متداولترین شکل پاسخ مورد استفاده برای سنجش متغیرهای پژوهش، شکل پاسخ مقیاسهای درجه بندی است و از میان این مقیاسها، مقیاس درجه بندی لیکرت محبوبترین نوع آن است. در این مقیاس، از پاسخگویان خواسته میشود که از یک درجه بندی برای نشان دادن شدت علاقه خود به نفع یک مسأله یا علیه آن استفاده کنند. این طیف از پنج قسمت مساوی تشکیل شده است و محقق متناسب با موضوع پژوهش تعدادی گزینه در اختیار پاسخگو قرار میدهد تا گرایش خود را دربارۀ آن مشخص نماید. طیف مذکور از گزینه کاملاً موافق تا گزینه کاملاً مخالف امتداد دارد. [۱۶]

جدول ۱. امتیاز بندی مقیاس لیکرت استفاده شده در این پژوهش

عبارت کیفی	خیلی کم	کم	کم تا متوسط	متوسط	متوسط تا زیاد	زیاد	خیلی زیاد
مقدار کمی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

با توجه به ماهیت داده ها و مدل پژوهش تجزیه و تحلیل داده ها و محاسبات لازم را می توان در سه بخش مجزا ارائه کرد. در بخش اول تلاش می شود به ارائه اطلاعات جمعیت شناختی و داده های توصیفی پژوهش پرداخته شود. در بخش دوم به ارزیابی و وزن دهی معیارهای پژوهش با استفاده از روش آنتروپی شانون پرداخته می شود. در بخش آخر نیز به ارزیابی گزینه های پژوهش بر اساس روش تاپسیس و واسپاس پرداخته خواهد شد.

تعیین حجم نمونه

اخذ تصمیم درباره حجم نمونه، از لحاظ تامین میزان دقت نتایج نمونه گیری و صرفه جویی در مقدار وقت و هزینه از اهمیتی خاص برخوردار است. تعیین حجم نمونه با در نظر گرفتن میزان دقت و سطح اطمینان مورد نظر محاسبه می گردد [۱۶]. مقدار اشتباه مجاز (d) معمولا به صورت تفاوت میان پارامتر و برآورد آن بیان می‌شود. در برخی از پژوهش های علوم رفتاری که از طریق نمونه گیری انجام می‌شود، معمولا یافتن برآورد برای نسبت صفت متغیر در جامعه (p) مد نظر است. در صورتی که بخواهیم نسبت افراد جامعه که دارای یک ویژگی خاصی هستند (p) را برآورد کنیم، جهت محاسبه حجم نمونه مورد نیاز از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$(۱۰)\quad n=\frac{Z^2pq}{d^2}$$

که در آن p برآورد نسبت صفت متغیر با استفاده از مطالعات قبلی و q=1-p است. همچنین مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان z است که از جدول مربوطه استخراج می‌شود و در سطح اطمینان ۰/۹۵ برابر ۱/۹۶ است. چنانچه مقدار α-1 در دسترس نباشد، می‌توان آن را مساوی ۰/۵ اختیار کرد. در این حالت مقدار واریانس (p) به حداکثر خود یعنی ۰/۲۵ میرسد. چنانچه تعداد نمونه (n) بدست آمده از فرمول فوق نسبت به حجم جامعه کوچک باشد (n/NO0.05)، حجم نمونه محاسبه شده به عنوان نمونه نهایی مورد نظر قرار می گیرد. در غیر اینصورت، تعداد نمونه را n0 نامیده و با استفاده از رابطه زیر تعداد نمونه را برای حجم نهایی تعدیل می کنیم:

$$(۱۱)\quad nn=\frac{n_0}{(1+\frac{n_0}{N})}$$

در این رابطه n0 حجم نمونه است که باید تعدیل شود. قابل ذکر است اگر از همان ابتدا بخواهیم با توجه به حجم جامعه، نمونه را برآورد کنیم، فرمول فوق به قرار زیر خواهد بود (پس از جایگذاری فرمول قبل و خلاصه نمودن فرمول) که این فرمول ، فرمول کوکران برای جامعه معین می باشد [۱۶]:

$$(۱۲)\quad n=\frac{Nz^2pq}{Nd^2+Z^2pq}$$

[1] Likert Spectrum

فرایند تصمیم گیری

تعیین حجم نمونه

برای تعیین حجم نمونه در این مطالعه سطح اطمینان برابر ۰/۹۵ در نظر گرفته شد. همچنین مقدار اشتباه مجاز برابر ۰/۰۵ و حجم جامعه کل برابر با ۱۶ نفر در نظر گرفته شد. از این رو، حجم بهینه نمونه تحقیق مطابق رابطه ۱۲ برابر با عدد ۱۵ حاصل گردید.

اطلاعات پاسخ دهندگان پژوهش

در این بخش به ارائه اطلاعات سن، سابقه کار، جنسیت و میزان تحصیلات شرکت کنندگان در این مطالعه می پردازیم. ۶۰ درصد پرسش شوندگان در این پژوهش مرد و مابقی زن بوده اند. همچنین سطح تحصیلات پاسخگویان به عنوان یکی از داده-های توصیفی جمعیت شناختی پژوهش به حساب می آید. ۱۳ درصد پرسش شوندگان دارای مدرک تحصیلی فوق دیپلم، ۳۳ درصد دارای مدرک کارشناسی، ۴۰ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و مابقی دارای مدرک دکتری بوده اند. توزیع فراوانی نمونه آماری پژوهش نشان می دهد که ۶۰ درصد در محدوده سنی ۳۰ تا ۴۰ سال، ۲۰ درصد در محدوده سنی ۴۰ تا ۵۰ سال و الباقی در محدوده سنی ۵۰ تا ۶۰ سال بوده اند.

تحلیل داده ها

همانطور که پیش از این مطرح شد، در این پژوهش داده های جمع آوری شده با استفاده از رویکرد ترکیبی واسپاس و تاپسیس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بنابراین مراحل تجزیه و تحلیل داده های پژوهش بر اساس گام های این دو روش ارائه شده است. در ادامه به معرفی معیار ها و گزینه های مورد استفاده در این پژوهش و تجزیه و تحلیل معیارها خواهیم پرداخت.

معیار ها و گزینه های پژوهش

گزینه های ریسک در این پژوهش ۱۴ مورد و معیارها ۴ مورد می باشند که تمامی اینها برآیند حاصل از بررسی مقالات علمی به‌روز و تجمیع نظرات خبرگان موضوع بوده است. جهت سهولت در اجرای محاسبات، به هریک از این معیارها و گزینه ها اندیسی تخصیص یافت که به تفصیل در جدول ۲ بیان شده اند.

جدول ۲. معیارها و گزینه های ریسک (شناسایی شده برای پژوهش)

معیارهای ریسک	گزینه های ریسک
فنی و اجرایی (C1)	فقدان چارچوب‌های مشخص (RA1)
	عدم وجود آموزش‌های جامع و مناسب (RA2)
	سیستم مناسب در جمع آوری اطلاعات مرتبط با انرژی ساختمان (RA3)
اقتصادی (C2)	زیرساخت‌های فرسوده و نامناسب (RA4)
	سرعت پایین تحولات و نوآوری (RA5)
	عدم تمایل ذینفعان به پیروی از این سیاست‌ها (RA6)
	تمایلات سیاسی (RA7)
اجتماعی (C3)	هزینه‌های بسیار بالا فناوری‌های مرتبط (RA8)
	عدم شفافیت در رسیدن به اهداف ساختمان کربن صفر (RA9)
	عدم وجود سیاست‌های تشویقی (RA10)
	عدم وجود آیین نامه‌ها و استانداردهای جامع (RA11)
جغرافیایی (C4)	ضعف برنامه‌ریزی شهری در نیل به اهداف ساختمان با کربن صفر (RA12)
	کاهش آلایندگی در ساختمان‌های موجود (RA13)
	وابستگی کامل به انرژی‌های فسیلی (RA14)

تحلیل معیارها با روش آنتروپی[1]

معیارهای پژوهش بر اساس روش آنتروپی مورد ارزیابی و وزن دهی قرار گرفت. اولین گـام از گامهـای روش آنتروپـی تشـکیل ماتریس تصمیم گیری مساله بود. گزینه های پژوهش نیز بر اساس نظرات خبرگان سازمان مورد مطالعه شناسایی شد. وضعیت هر یک از گزینه ها در هر یک از معیارها نیز با استفاده از پرسشنامه از خبرگان جمـع آوری گردیـد. پـس از تشـکیل مـاتریس تصمیم گیری نرمال، سایر محاسبات مربوط به روش آنتروپی جهت محاسبه وزن معیارها انجام شد. در این مرحله نتایج مربوط به محاسبات روش شامل تعیین شاخص K، آنتروپی هر معیار، درجه انحراف هر معیار و وزن هر معیار، ارائه شده اسـت. جـدول شماره ۳ کلیه نتایج مربوط به این بخش را نشان می دهد.

جدول ۳. آنتروپی، درجه انحراف و وزن هر معیار

خبرگان	آنتروپی هر شاخص معیار(Ej)	درجه انحراف هرمعیار(Dj)	وزن
E1	0.986595305	0.013404695	**0.041565381**
E2	0.989225886	0.010774114	**0.033408456**
E3	0.971497977	0.028502023	**0.088379293**
E4	0.989704101	0.010295899	**0.031925601**
E5	0.98134782	0.01865218	**0.057836824**
E6	0.975409405	0.024590595	**0.076250705**
E7	0.97280782	0.02719218	**0.084317721**
E8	0.985900192	0.014099808	**0.043720793**
E9	0.977595969	0.022404031	**0.069470591**
E10	0.959857526	0.040142474	**0.124474091**
E11	0.998508653	0.001491347	**0.004624381**
E12	0.978229401	0.021770599	**0.06750644**
E13	0.952615406	0.047384594	**0.146930515**
E14	0.996863346	0.003136654	**0.00972616**
E15	0.961344573	0.038655427	**0.119863047**

تحلیل گزینه ها با روش تاپسیس

اولین گام در انجام روش تاپسیس تشکیل ماتریس تصمیم مساله می باشد. برای این منظور در روش تاپسیس باید معیارها، جنس معیارها، وزن معیارها، گزینه ها و وضعیت هر یک از گزینه ها در هر یک از معیارها در دسترس باشد. اکنون برای تشکیل ماتریس تصمیم روش تاپسیس باید جنس معیارها و وزن معیارها نیز مشخص شود. جنس معیارها بر اساس اینکه مقدار بیشتری از آن معیار برای ما مطلوبتر است یا مقدار کمتری از آن مشخص می شوند. هنگامی که مقدار بزرگتر یک معیار برای ما مطلوبتر باشد، جنس آن معیار از نوع سود یا مثبت است و هنگامی که مقدار کمتر آن معیار برای ما مطلوبتر باشد جنس آن معیار از نوع هزینه یا منفی خواهد بود. وزن معیارها نیز در بخش قبل با استفاده از روش آنتروپی محاسبه شد. پس از تشکیل ماتریس تصمیم مساله باید ماتریس تصمیم نرمال یا بی مقیاس شود. برای این منظور در این پژوهش از روش بی مقیاس کردن اقلیدسی برای نرمال کردن ماتریس تصمیم مساله استفاده شد. از خصوصیات این روش بی مقیاس سازی این است که جهت شاخص‌ها پس از بی مقیاس سازی تغییر نمی کند.

گام بعدی در انجام محاسبات روش تاپسیس، وزن‌دهی ماتریس تصمیم نرمال‌شده بود. برای این هدف ماتریس تصمیم نرمال شده در ماتریس وزن معیارهای پژوهش ضرب شد. جدول ۴ ماتریس تصمیم نرمال شده وزن‌دار را نشان میدهد. همانطور که بیان شد اساس روش تاپسیس محاسبه میزان فاصله ی گزینه ها از جواب های ایده آل مثبت و منفی می باشد. بنابراین در

[1] Entropy

این مرحله با استفاده از روابط ارائه شده در بخش قبل، جواب های ایده آل مثبت و منفی بدست آمد. در این گام با استفاده از روابط ارایه شده در بخشهای پیشین فاصله‌ی هر یک از گزینه ها از جواب های ایده آل مثبت و منفی محاسبه شد. جدول ۵ میزان فاصله هر یک از گزینه ها از جواب های ایده آل مثبت و منفی را نشان می‌دهد.

جدول ۴. ماتریس تصمیم نرمال (یا بی مقیاس) شده وزن‌دار

خبرگان		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
اوزان		**0.0415653**	**0.0334084**	**0.0883792**	**0.0319256**	**0.0578368**	**0.0762507**	**0.0843177**	**0.0437207**	**0.0694705**	**0.1244740**	**0.0046243**	**0.0675064**	**0.1469305**	**0.0097261**	**0.1198630**
گزینه ها	RA1	0.0122274	0.0092233	0.0097302	0.0086954	0.0180164	0.0208925	0.0048044	0.0150701	0.0225392	0.0241546	0.0011489	0.0204283	0.0431402	0.0027757	0.0402032
	RA2	0.0122274	0.0110680	0.0194604	0.0104345	0.0180164	0.0208925	0.0288266	0.0125584	0.0187826	0.0483093	0.0011489	0.0204283	0.0431402	0.0027757	0.0335027
	RA3	0.0109552	0.0110680	0.0194604	0.0104345	0.0150136	0.0041785	0.0192177	0.0150701	0.0187826	0.0322062	0.0011489	0.0163427	0.0345122	0.0023131	0.0268021
	RA4	0.0122274	0.0092233	0.0291907	0.0104345	0.0120109	0.0250710	0.0096088	0.0125584	0.0225392	0.0080515	0.0011489	0.0204283	0.0517683	0.0023131	0.0402032
	RA5	0.0040758	0.0055340	0.0291907	0.0069563	0.0180164	0.0250710	0.0144133	0.0100467	0.0037565	0.0402577	0.0013787	0.0204283	0.0517683	0.0023131	0.0067005
	RA6	0.0081164	0.0092233	0.0243256	0.0052172	0.0210191	0.0250710	0.0288266	0.0075350	0.0150261	0.0161031	0.0013787	0.0163427	0.0086280	0.0023131	0.0335027
	RA7	0.0101895	0.0073786	0.0243256	0.0052172	0.0210191	0.0250710	0.0192177	0.0075350	0.0150261	0.0241546	0.0013787	0.0122570	0.0345122	0.0027757	0.0268021
	RA8	0.0142653	0.0092233	0.0194604	0.0104345	0.0150136	0.0083570	0.0192177	0.0125584	0.0225392	0.0563609	0.0011489	0.0122570	0.0517683	0.0032383	0.0067005
	RA9	0.0142653	0.0110680	0.0145953	0.0086954	0.0060054	0.0208925	0.028826	0.0125584	0.0112696	0.0322062	0.0011489	0.0163427	0.0086280	0.0032383	0.0335027
	RA10	0.0101895	0.0055340	0.0291907	0.0086954	0.0120109	0.0125355	0.0192177	0.012558	0.0150261	0.0080515	0.0011489	0.0245140	0.0345122	0.0023131	0.0469038

	RA11	0.0101895	0.0110680	0.0243256	0.0052172	0.0180164	0.0208925	0.0240222	0.0150701	0.0187826	0.0322062	0.0011489	0.0204283	0.0086280	0.0023131	0.0134010
	RA12	0.0142537	0.0092336	0.0048651	0.0086954	0.0090082	0.0208925	0.0240222	0.0100467	0.0225392	0.0402577	0.0013787	0.0122570	0.0603963	0.0027757	0.0402032
	RA13	0.0081516	0.0055340	0.0340558	0.0086954	0.0150136	0.0208925	0.0288266	0.0050238	0.0150261	0.0322062	0.0013787	0.0040856	0.0345122	0.0023131	0.0335027
	RA14	0.0101895	0.0073786	0.0291907	0.0086954	0.0090082	0.0208925	0.0288266	0.0100467	0.0262957	0.0322062	0.0011489	0.0245140	0.0345122	0.0023131	0.0335027

جدول ۵. فاصله گزینه‌ها از جواب‌های ایده آل مثبت و منفی

مقادیر ایده آل		فاصله از ایده آل مثبت(S^*)	فاصله از ایده آل منفی(S^-)
گزینه های ریسک	RA1	0.061913759	0.051155091
	RA2	0.073607149	0.029420384
	RA3	0.052264835	0.050756023
	RA4	0.069676625	0.054523879
	RA5	0.066772371	0.053738619
	RA6	0.05210276	0.069959474
	RA7	0.053130716	0.051865122
	RA8	0.073048667	0.049856183
	RA9	0.051611781	0.066079668
	RA10	0.06198593	0.059519377
	RA11	0.049616653	0.068175952
	RA12	0.077922616	0.039208846
	RA13	0.062587836	0.046943564
	RA14	0.06657645	0.040961103

در گام بعدی، با استفاده از مقدار شاخص نزدیکی نسبی هر گزینه به جواب ایده آل، تمامی گزینه ها ارزیابی و رتبه بندی شدند. همانطور که در بخش قبل بیان شد، هر چه مقدار شاخص نزدیکی نسبی یک گزینه به عدد ۱ نزدیکتر باشد بیانگر این است که آن گزینه فاصله ی کمتری تا ایده آل مثبت و فاصله بیشتری تا ایده آل منفی دارد. برهمین اساس گزینه ها به ترتیب نزولی C^* رتبه بندی شدند. جدول ۶ شاخص های نزدیکی نسبی هر گزینه به جواب ایده را به همراه رتبه کلی آنها نشان می دهد.

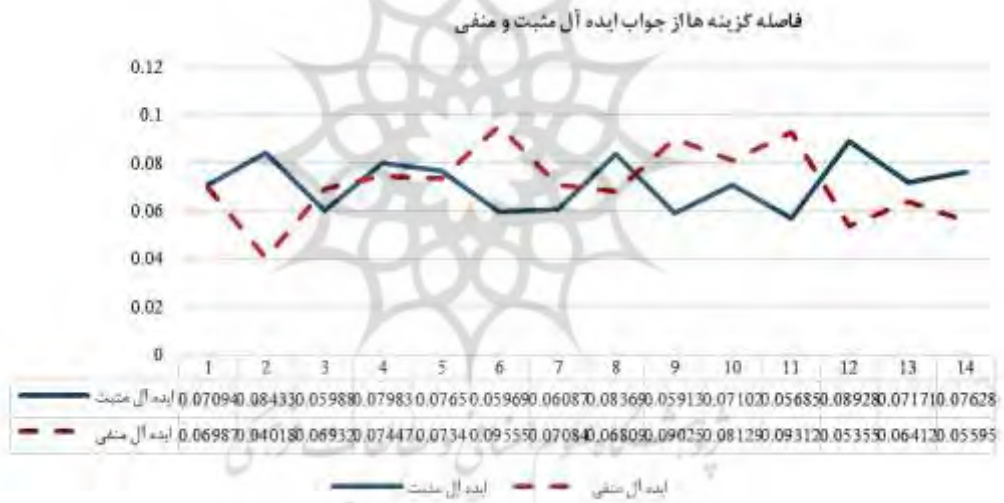
جدول ۶. شاخص نزدیکی نسبی گزینه ها به جواب ایده آل

گزینه‌های پژوهش	شاخص نزدیکی نسبی(C^*)	رتبه بندی گزینه های ریسک
RA1	0.452424263	8
RA2	0.285558464	1
RA3	0.492677155	10
RA4	0.438998853	6
RA5	0.445922973	7
RA6	0.57314594	13
RA7	0.493973121	11
RA8	0.40564862	4
RA9	0.561465327	12
RA10	0.489850018	9

14	0.578779558	**RA11**
2	0.334742224	**RA12**
5	0.428585446	**RA13**
3	0.380900453	**RA14**

همانطور که مشاهده می شود از میان گزینه های پژوهش ریسک های ناشی از عدم وجود آموزش های جامع و مناسب رتبه اول را کسب کرده است. ریسک های ناشی از ضعف برنامه ریزی شهری در نیل به اهداف ساختمان با کربن صفر و ریسک های ناشی از وابستگی کامل به انرژی های فسیلی نیز به ترتیب رتبه های دوم و سوم را کسب کرده اند. از نتایج بدست آمده می توان نتیجه گیری کرد که با تقویت گزینه شماره دو به عنوان اصلی ترین عامل کاهنده در پیاده سازی سیاست‌های ساختمان های کربن صفر و سرمایه‌گذاری مناسب روی آموزش همه جانبه‌ی متخصصین و ذی‌نفعان صنعت ساختمان میتوان بهره برداری از این امر را بطور قابل ملاحظه ای بهبود بخشید.

در این بخش با استفاده از مقدار نرمال شده فاصله گزینه ها از جواب های ایده آل مثبت و منفی نتایج تحلیل شد. برهمین اساس دلیل اینکه چرا ریسک‌های ناشی از عدم وجود آموزش‌های جامع و مناسب رتبه اول را کسب کرده و ریسک های ناشی از عدم وجود آیین‌نامه ها و استانداردهای جامع رتبه چـــهاردهـــم را کسب کرده است شناسایی گردید. با مشخص شدن مقدار نرمال شده فاصله گزینه ها از جواب های ایده آل مثبت و منفی نمودار مقایسه ای پاسخها ترسیم شد که در شکل شماره ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲. نمودار مقایسه ای فاصله گزینه‌ها از جواب ایده آل مثبت و منفی

در شکل شماره ۲ منحنی ممتد با خط تیره مربوط به ایده آل مثبت و منحنی خط-چین مربوط به ایده آل منفی می‌باشد. همچنین محور افقی، گزینه های تحقیق و محور عمودی نیز مقدار فاصله هر گزینه از هر منحنی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده میشود گزینه شماره ۱۱ بیشترین فاصله را از جواب ایده آل منفی دارد و البته فاصله کمی را نیز از جواب ایده آل مثبت دارد. با توجه به شکل مشاهده می شود که گزینه ۲ کمترین فاصله را از جواب ایده آل منفی و بیشترین فاصله را از جواب ایده آل مثبت دارد و همین امر باعث شده است که این گزینه به عنوان رتبه یـــک در بین گزینه های ریسک موضوع شناخته شود.

تحلیل گزینه‌ها با روش واسپاس

چهار معیار اصلی در ارزیابی ریسک های ساختمان با کربن صفر مورد استفاده قرار گرفت و اوزان معیارها همانند بخش اول به روش وزن دهی انتروپی محاسبه شد، با این تفاوت که این بخش مبنای ارزیابی نظرات خبرگان معیارهای مندرج در پرسشنامه پژوهش می باشد. برای تحلیل به روش واسپاس ابتدا ماتریس تصمیم گیری مساله تشکیل شد، که حاصل از میانگین هندسی پرسشنامه های تکمیل شده از جانب خبرگان پژوهش می باشد. ماتریس تصمیم واسپاس در جدول ۷ دیده می شود.

جدول ۷. ماتریس تصمیم روش واسپاس (میانگین هندسی)

معیار ها		C1	C2	C3	C4
گزینه ها	RA1	6.199761	4.025163	2.161421	5.210814
	RA2	4.853429	4.840238	6.251781	2.502393
	RA3	5.667708	6.02792	2.641401	5
	RA4	5.510614	5.855901	4.025163	5.844914
	RA5	5.96629	5.678362	2.976536	2.281488
	RA6	2.570958	5.977506	2.897155	2.502393
	RA7	2.502393	6.24005	4.986411	2.570958
	RA8	4.878395	5.988742	5.988742	2.641401
	RA9	2.819891	4.986411	4.972859	2.52212
	RA10	2.976536	5.927513	6	2.713774
	RA11	6.039251	5.123037	2.919993	1.873407
	RA12	5.916391	5.788229	1.909683	1.924737
	RA13	6	6.705481	6.477528	1.823445
	RA14	1.977475	5.927513	6.705481	2.819891

گام اول تحلیل داده ها با روش های تصمیم گیری چند معیاره، محاسبه اوزان معیارها می‌باشد که در بخش دوم با توجه به در نظر گرفتن چهار معیار اصلی فنی و اجرایی (C1)، اقتصادی (C2)، اجتماعی (C3)، جغرافیایی (C4) و با استفاده از روش آنتروپی شانون[1] انجام شد. بر اساس نتایج جدول ۷ مشخص شد که از میان معیارهای پژوهش، معیار C4 با وزن ۰/۳۴۶۲ بیشترین وزن را کسب کرده است، بنابراین از اهمیت بیشتری نسبت به سایر معیارها برخوردار است. معیارهای C3، C1 و C2 نیز به ترتیب رتبه های دوم، سوم و چهارم را کسب کرده اند. در این مرحله برای پیشروی در رتبه بندی گزینه های ریسک در روش واسپاس، ماتریس تصمیم نرمال شده تشکیل شد. مراحل اجرا مطابق با روابط ۲ و ۳ انجام شد.

پس از محاسبه اهمیت نسبی هر گزینه، با استفاده از روش های جمع وزن دار و ضرب وزن دار و با بکارگیری ضریب واسپاس (λ) گزینه های ریسک رتبه بندی شد. مقدار ضریب واسپاس در سه حالت ۰، ۰/۵ و ۱ مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که روش واسپاس ترکیبی از دو روش جمع وزن دار و ضرب وزن دار می باشد، لذا وقتی مقدار λ برابر با عدد صفر باشد، روش واسپاس به مدل ضرب وزن دار تبدیل می شود، و هنگامی که λ برابر با عدد ۱ در نظر گرفته می شود روش مورد نظر به مدل جمع وزن دار تغییر می یابد. نکته حائز اهمیت در تخصیص مقدار λ این است که بررسی هر سه حالت فوق الذکر در تحلیل داده ها منجر به بهبود دقت بررسی نتایج می‌گردد. بدیهی است هر گزینه ای که مقدار Q بیشتری را کسب کند دارای امتیاز و اولویت بالاتری می باشد. نتایج حاصل از تحلیل نتایج به روش واسپاس در هر سه حالت مفروض برای ضریب واسپاس (λ) در جداول ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده اند.

جدول ۸ . رتبه بندی گزینه ها در حالتی که ضریب واسپاس (λ) برابر با ۰/۵ باشد.

معیار ها		WSM	WPM	λ = 0.5	رتبه ریسک
گزینه ها	RA1	0.72898	0.65064	0.689808	**3**
	RA2	0.71304	0.6759	0.694472	**2**
	RA3	0.70688	0.66192	0.684401	**6**
	RA4	0.8216	0.80226	0.811934	**1**
	RA5	0.57771	0.53418	0.555947	**9**
	RA6	0.43344	0.43178	0.432608	**13**
	RA7	0.54088	0.52086	0.530866	**11**
	RA8	0.70388	0.675	0.689439	**4**
	RA9	0.5566	0.53814	0.54737	**10**
	RA10	0.62373	0.59453	0.609127	**7**

[1] Shannon's Entropy

	RA11	0.55631	0.49894	0.527626	12
	RA12	0.4991	0.43096	0.465035	14
	RA13	0.72855	0.64379	0.686167	5
	RA14	0.62149	0.55876	0.590122	8

جدول ۹ . رتبه بندی گزینه ها در حالتی که ضریب واسپاس (λ) برابر با ۰ باشد.

معیار ها		WSM	WPM	λ = 0	رتبه ریسک
گزینه ها	RA1	0.72898	0.65064	0.650641	5
	RA2	0.71304	0.6759	0.675902	2
	RA3	0.70688	0.66192	0.661922	4
	RA4	0.8216	0.80226	0.802263	1
	RA5	0.57771	0.53418	0.534184	10
	RA6	0.43344	0.43178	0.431777	13
	RA7	0.54088	0.52086	0.520855	11
	RA8	0.70388	0.675	0.674998	3
	RA9	0.5566	0.53814	0.538138	9
	RA10	0.62373	0.59453	0.594525	7
	RA11	0.55631	0.49894	0.498945	12
	RA12	0.4991	0.43096	0.430965	14
	RA13	0.72855	0.64379	0.643787	6
	RA14	0.62149	0.55876	0.558758	8

جدول ۱۰. رتبه بندی گزینه ها در حالتی که ضریب واسپاس (λ) برابر با ۱ باشد.

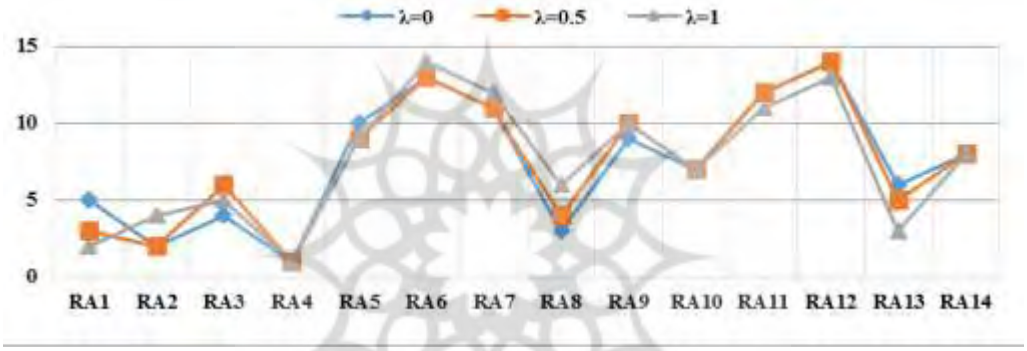
معیار ها		WSM	WPM	λ = 1	رتبه ریسک
گزینه ها	RA1	0.72898	0.65064	0.728975	2
	RA2	0.71304	0.6759	0.713041	4
	RA3	0.70688	0.66192	0.70688	5
	RA4	0.8216	0.80226	0.821605	1
	RA5	0.57771	0.53418	0.57771	9
	RA6	0.43344	0.43178	0.433438	14
	RA7	0.54088	0.52086	0.540877	12
	RA8	0.70388	0.675	0.703881	6
	RA9	0.5566	0.53814	0.556602	10
	RA10	0.62373	0.59453	0.623729	7
	RA11	0.55631	0.49894	0.556307	11
	RA12	0.4991	0.43096	0.499105	13
	RA13	0.72855	0.64379	0.728547	3
	RA14	0.62149	0.55876	0.621486	8

سپس، با استفاده از روش واسپاس نتایج حاصل از پرسشنامه توزیع شده میان خبرگان پژوهش و داده های جمع آوری شده تحلیل شد. در این قسمت، معیارهای لحاظ شده در رتبه بندی گزینه های ریسک شامل ۴ معیار اصلی فنـــی و اجرایی (C1)، اقتصادی (C2) ، اجتماعی (C3)، و جغرافیایی (C4) می باشند. پس از تشکیل ماتریس تصمیم گیری، وزن هر یک از معیارهای مذکور با استفاده از روش آنتروپی شانون تعیین شد. پس از محاسبه اوزان معیارها و تشکیل ماتریس نرمال شده، تحلیل اصلی در دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا اهمیت نسبی گزینه ها محاسبه شد که با بهره گیری از دو مدل جمع وزن دار و ضرب وزن دار نتایج لازم حاصل شدند.

سپس، در مرحله نهایی، با در نظر گرفتن ضریب واسپاس (λ) در سه حالت (۱، ۰/۵ و ۰) به طور جداگانه گزینه های ریسک در هر یک از حالات مذکور رتبه بندی شدند. در تمامی موارد گزینه ی ریسک های ناشی از زیرساخت های فرسوده و

نامناسب برای مصرف انرژی رتبه اول را کسب نمود. نمودارهای نتایج در شکلهای ۳ و ۴ نشاندهنده جزییات بیشتر تحلیل می باشند.

شکل ۳. امتیازات گزینه ها در سه حالت مختلف ضریب واسپاس (λ)



شکل ۴. رتبه بندی گزینه های ریسک با روش تحلیل واسپاس

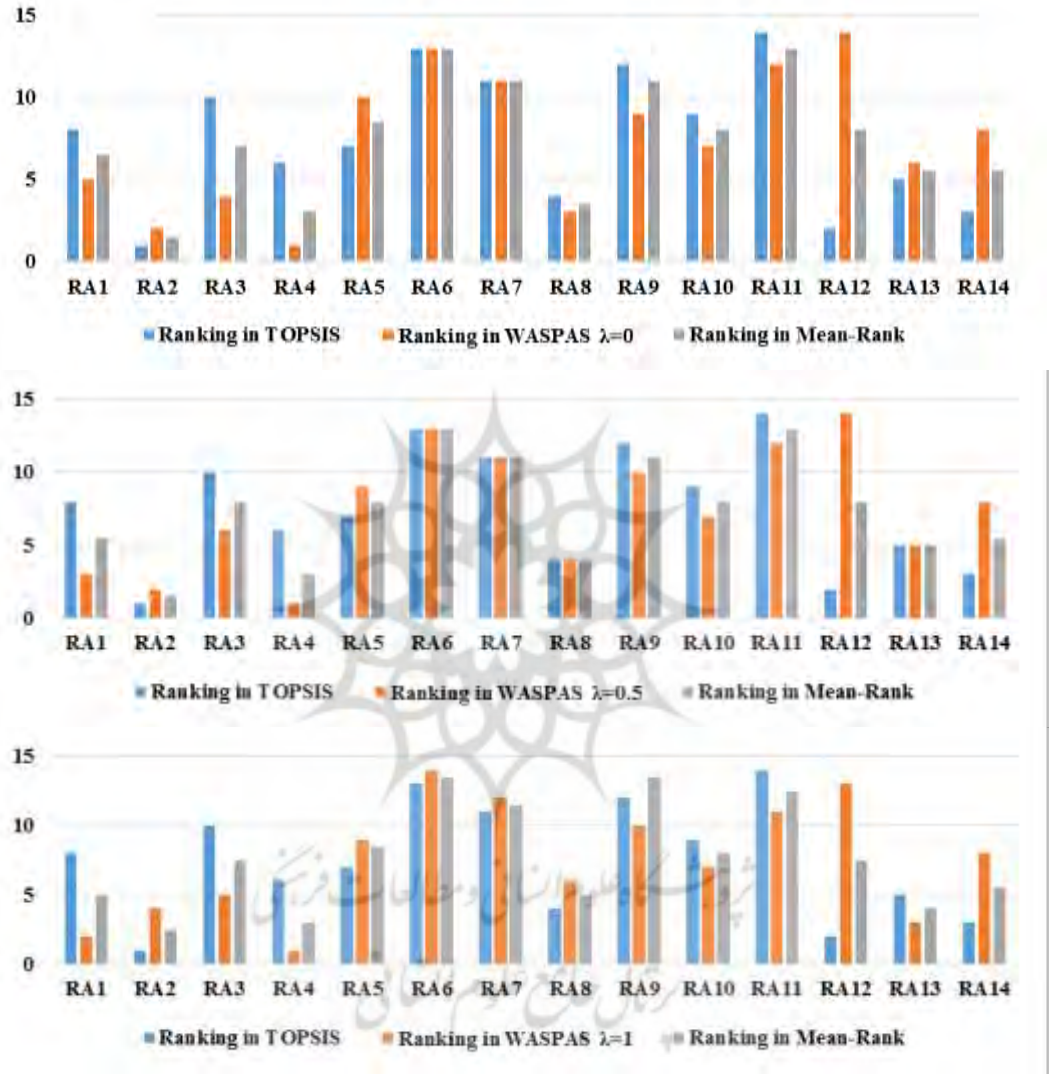
بررسی نهایی و بحث در نتایج حاصله

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده های پرسشنامه ای در دو بخش مختلف، رتبه بندی ریسک ها با استفاده از دو روش تاپسیس و واسپاس، و نظر به اهمیت کلی شناسایی این ریسک ها، یک چارچوب کلی برای مقایسه و رتبه بندی اینگونه ریسک ها ارایه شد که نتایج آن در جدول ۱۱ قابل مشاهده است. برای تجمیع نتایج حاصله از روش رتبه بندی میانگین استفاده شد که نتایج تفکیکی برای هر روش جهت سهوتی در مقایسه در شکل ۵ به نمایش درآمده است.

جدول ۱۱. مقایسه رتبه بندی گزینه های ریسک با روش میانگین

شاخص ریسک	رتبه در تاپسیس	رتبه در واسپاس (λ=0)	رتبه میانگین	رتبه در تاپسیس	رتبه در واسپاس (λ=0.5)	رتبه میانگین	رتبه در تاپسیس	رتبه در واسپاس (λ=1)	رتبه میانگین
RA1	8	5	6.5	8	3	5.5	8	2	5
RA2	1	2	1.5	1	2	1.5	1	4	2.5
RA3	10	4	7	10	6	8	10	5	7.5
RA4	6	1	3	6	1	3	6	1	3
RA5	7	10	8.5	7	9	8	7	9	8.5
RA6	13	13	13	13	13	13	13	14	13.5
RA7	11	11	11	11	11	11	11	12	11.5
RA8	4	3	3.5	4	4	4	4	6	5
RA9	12	9	11	12	10	11	12	10	13.5

8	7	9	8	7	9	8	7	9	RA10
12.5	11	14	13	12	14	13	12	14	RA11
7.5	13	2	8	14	2	8	14	2	RA12
4	3	5	5	5	5	5.5	6	5	RA13
5.5	8	3	5.5	8	3	5.5	8	3	RA14



شکل ۵. رتبه بندی گزینه های ریسک بر اساس نتایج حاصل از تاپسیس، واسپاس، و رتبه بندی میانگین

مقایسه ی نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایر پژوهش ها نشان از همسویی قابل قبول آنهاست. برهمین اساس، فونگ بوی و همکارانش [17] راهکار توسعه و مبادله‌ی دانش موضوع را راه حل موثر رفع ریسکها و چالش‌هایش میدانند. همچنین، اوهه‌نه [18] با نتایجی تقریبا مشابه، راهبرد مناسب برای غلبه بر ریسکها و موانع سیاست کربن‌صفر را مشارکت تعاملی دولت با سازندگان، فعالین بخش انرژی، کاربران و ذی نفعان ساختمان برشمرده است. کومار [19] نیز همسو با سایرین ریسکهای اقتصادی، زیست محیطی، زیرساختی و سیاست گذاری را تاثیر گذار دانسته و کاربردهای مدیریتی برای موضوع پیشنهاد داده است. در همین راستا، پن [6] با شناسایی عوامل نسبتا مشابه تاثیرگذار بر روی ریسکهای موضوع کربن صفر، پیشنهاد داده که بایستی تغییرات مهمی در سیاست گذاری های کلان، راهبردهای تجاری، مشارکت ذی نفعان، و مدیریت دولتی و مشتری مداری ایجاد کرد.

جمع بندی

در این پژوهش سعی شد تا مشکلات مربوط به تدوین و اجرای سیاست گذاری ساختمانهای با کربن صفر به طور روشن شناسایی شوند. هدف اصلی ارزیابی ریسک های مربوطه جهت ارائه یک چارچوب مشخص برای فعالان صنعت ساخت بوده است تا بتوانند با بررسی و مطالعه آنها در راستای کاهش میزان آلایندگی کربن تولیدی ساختمان ها گام بردارند. در این پژوهش چهار معیار اصلی در ارزیابی ریسک های پیاده سازی سیاست کربن صفر شناسایی شد. با توجه به نتایج حاصل از بررسی نظرات خبرگان و با بکارگیری سه روش تصمیم گیری (تاپسیس، واسپاس و رتبه بندی میانگین) برای تحلیل داده های تحقیق، سهم قانون گذاران در آماده سازی بستر مناسب در اجرایی کردن این سیاست ها و کاهش ریسک های ناشی از پیاده سازی آنها بسیار کلیدی شناخته شد. در میان گزینه های تحقیق، ریسک های ناشی از عدم وجود آموزش های جامع و مناسب رتبه اول را کسب کرد و پس از آن ریسک های ناشی از ضعف برنامه‌ریزی شهری، و نیز وابستگی کامل به انرژی های فسیلی به ترتیب رتبه های دوم و سوم بحرانی ترین گزینه ها را به خود اختصاص دادند. با توجه به نتایج تحقیق، به نظر می-رسد راهکارهای زیر بایستی جزو اولویت‌های اصلی و همچنین اقدامات لازم جهت رسیدن به هدف ساختمان کربن صفر باشد:

- از ظرفیت‌های جامع برنامه ریزی شهری در جهت کاهش تقاضای انرژی، توسعه انرژی‌های تجدید پذیر و بهبود زیرساخت‌ها، استفاده شود.
- انتشارگازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل و نقل، ساخت و ساز و استفاده از ساختمان‌ها تا حد امکان کنترل شود.
- اقدامات اساسی شامل تصویب سیاست‌های برنامه ریزی شهری با هدف کربن زدایی از صنعت ساختمان در بلند مدت و برنامه ریزی انرژی منطقه‌ای، یعنی ایجاد یک رویکرد سیستماتیک که می‌تواند تولید و مصرف انرژی را تعدیل صورت پذیرد.
- تنظیم و اجرای آیین‌نامه‌های اجباری، و در نظرگرفتن حداقلی از بهره‌وری انرژی برای ساختمان‌های جدید از اهمیت ویژه ای برخوردار است.
- بازسازی تجهیزات انرژی و میزان بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های موجود باید افزایش یابد.
- بایستی تقاضای انرژی کاهش یابد. برای افزایش پایداری سیستم‌ها در ساختمان باید تخصیص اعتبار به سیستم‌های پاک تسریع و تسهیل گردد.
- ریسک‌های مربوط به تغییرات آب و هوا کاهش یابد.
- دسترسی به انرژی امن، ارزان و پایدار افزایش یابد.

منابع:

[1] Business Outlook and Evaluation for the City of Melbourne، (2002) Zero Net Emissions by 2020 a roadmap to a climate neutral city.

[۲] فرمند، م.، (۱۳۹۳)، طراحی محله‌ی شهری با رویکرد کم کربن و بدون کربن؛ (نمونه موردی: منطقه ۲۲ شهر تهران)، دانشکده هنر و معماری.

[۳] جعفری هفشجانی، ن.، (۱۳۹۶)، اولویت بندی سامانه های فعال خورشیدی برای دستیابی به ساختمان مسکونی صفر کربن در اقلیم گرم و خشک، دانشگاه هنر تهران.

[۴] مستاجران، ش.، (۱۳۹۳)، تبیین شاخص‌های تأثیرگذار در طراحی کالبدی بافت منطقه مرکزی اصفهان بر مبنای رویکرد کربن صفر، دانشگاه اصفهان.

[۵] یارمحمد، ف.، (۱۳۹۷)، تبیین اصول طراحی پوسته ساختمان های بلندمرتبه کربن صفر جهت کاهش انتشار دی اکسیدکربن، همایش بین المللی معماری عمران وشهرسازی در آغاز هزاره سوم، چهارم، تهران.

[6] WeiPan، MiPan، Opportunities and risks of implementing zero-carbon building policy for cities: Hong Kong case، (2019)، Applied Energy.

[7] Mari، M.، Paula، K.، (2017)، Creating innovative zero carbon homes in the United Kingdom Intermediaries and champions in building projects، Environmental Innovation and Societal Transitions.

[8] Grip، M.، Demonstration projects of Nearly Zero Energy Buildings: Lessons from enduser experiences in Amsterdam، Helsingborg، and Lyon، (2019)، Energy Research & Social Science، pp.10-15.

[9] Iedy، C.، Ederwasch، (2011)، Defining zero emission buildings Review and recommendations: Final report. Prepared for ustainability Victoria by the institute for Sustainable futures، university of Technology، Sydney.

[۱۰] اردشیر، عبدالله (۱۳۹۳). مدیریت ریسک در پروژه های عمرانی همراه با مثال های کاربردی، انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر).

[11] Rajat Gupta، Matt Gregg، (2018)، Assessing energy use and overheating risk in net zero energy dwellings in UK، Energy and Buildings، Volume 158، Pages 897-905.

[۱۲] فرجی، مهدی (۱۳۹۶). ارزیابی ریسک به انضمام انواع روشهای آن، انتشارات فن آوران.

[۱۳] قدسی پور، سید حسن، (۱۳۸۲)، مباحثی در تصمیم گیری چند معیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[14] Zavadskas، E. K.، Kalibatas، D.، & Kalibatiene، D. (2016). A multi-attribute assessment using WASPAS for choosing an optimal indoor environment. Archives of Civil and Mechanical Engineering، 16(1)، 76-85.

[۱۵] اصغرپور، محمد جواد، (۱۳۸۵)، تصمیم گیری های چند معیاره انتشا رات دانشگاه تهران، چاپ چهارم.

[۱۶] سرمد، زهره، حجازی، الهه، (۱۳۹۸)، روش های تحقیق، انتشارات آگه.

[17] Thao Thi Phuong Bui, Casimir MacGregor, Suzanne Wilkinson & Niluka Domingo (2022) Towards zero carbon buildings: issues and challenges in the New Zealand construction sector, International Journal of Construction Management, DOI: 10.1080/15623599.2022.2110642.

[18] Ohene, E., Chan, A. P., & Darko, A. (2022). Prioritizing barriers and developing mitigation strategies toward net-zero carbon building sector. Building and Environment, 109437. DOI:10.1016/j.buildenv.2022.109437.

[19] Kumar, A., Luthra, S., Mangla, S. K., Garza-Reyes, J. A., & Kazancoglu, Y. (2023). Analysing the adoption barriers of low-carbon operations: A step forward for achieving net-zero emissions. Resources Policy, 80, 103256.

[20] Pan, W., & Pan, M. (2021). Drivers, barriers and strategies for zero carbon buildings in high-rise high-density cities. Energy and Buildings, 242, 110970.

[21] Ohene, E., Chan, A. P., & Darko, A. (2022). Review of global research advances towards net-zero emissions buildings. Energy and Buildings, 112142.