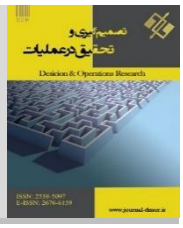
Decisions & Operations Research

Volume 6, Issue 1, Spring 2021



The Risk Evaluation of Green Buildings Using A Hybrid Procedure of DEMATEL and Analytic Network Process

Naeme Zarrinpoor[1,*], Mohsen Amiri[2], Mohammad Hadi Nematollahi[1]

[1]Department of Industrial Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran.
[2]Department of Project Management, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran.

Abstract

The green construction industry has been emerged with the urbanization development, the global population growth, and the growing demand for more sustainable and eco-friendly structures and it has been expanded quickly regarding some benefits such as the energy saving, less greenhouse gas emissions, and optimizing the health of residents. Since the risk of green buildings prevent their development, the comprehensive planning for identifying risk factors is necessary. This study is presented with the objective of the identification and evaluation of the risk for green buildings based on a real case study in Shiraz. To this end, 17 criteria are identified as the most important factors and they are classified in 5 groups, including policies and standards, economic, environmental, management, technical and quality factors. The relationship between risk criteria and sub-criteria is studied with DEMATEL procedure and then these criteria are ranked with the analytic network process. Results show that government policies and complicated approval procedures, the project delay, the lack of specific insurance for green buildings and the lack of accurate estimation of investment returning are the most important risk factors that urban designers must focus on them to increase the successes of the new emerging green construction industry.

Keywords: Green building, Environment, Risk assessment, Multi-criteria decision-making (MCDM) approaches.

Paper Type: Original

Received: 12/09/2020 Reviewed: 30/10/2020 Revised: 20/01/2021 Accepted: 31/01/2021

Citation:

Zarrinpoor, N., Amiri, M., & Nematollahi, M. H. (2021). Comparison of data mining algorithms on educational data using multi-criteria decision-making methods. *Decisions & operations research*, *6*(1), 115-131

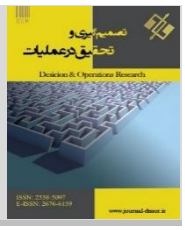
*** Corresponding Author**

Email Address: zarrinpoor@sutech.ac.ir

DOI: 10.22105/dmor.2021.247961.1213

www.journal-dmor.ir

نشریه علمی
تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات
Decisions and Operational Research
دوره ۶، شماره (۱)، بهار ۱۴۰۰



ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای

ناعمه زرین‌پور[۱*]، محسن امیری[۲]، محمدهادی نعمت‌الهی[۱]

[۱]گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران.

[۲]گروه مدیریت پروژه، دانشگاه صنعت نفت آبادان، آبادان، ایران.

چکیده

صنعت ساخت‌وساز سبز در پی توسعه شهرنشینی، رشد جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای سازه‌هایی با پایداری بیشتر و سازگار با محیط‌زیست به وجود آمد و با توجه به مزایایی نظیر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای و بهینه‌سازی سلامت ساکنین ساختمان به‌سرعت گسترش یافت. با توجه به این‌که ریسک‌های ساختمان‌های سبز از توسعه آن‌ها جلوگیری می‌کند، برنامه‌ریزی جامع برای شناسایی عوامل ریسک ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش باهدف شناسایی و ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز بر اساس یک مطالعه موردی در شهر شیراز انجام‌شده است. در این راستا، ۱۷ عامل به‌عنوان مهم‌ترین عوامل ریسک ساختمان‌های سبز شناسایی و در پنج گروه سیاست‌ها و استانداردها، عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی، مدیریتی، فنی و کیفیت طبقه‌بندی‌شده است. ارتباط بین عوامل ریسک و زیرمعیارها با روش دیمتل بررسی و سپس زیرمعیارها با روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای رتبه‌بندی شده‌اند. بر اساس نتایج پژوهش، قوانین دولتی و مراحل تصویب پیچیده، تأخیر پروژه، فقدان بیمه خاص برای مراحل ساخت ساختمان سبز و عدم برآورد دقیق میزان بازده سرمایه‌گذاری به ترتیب از مهم‌ترین عوامل ریسک هستند که باید طراحان سیستم شهری با تمرکز بر آن‌ها، موفقیت صنعت نوظهور ساخت‌وساز سبز در شهرها را افزایش دهند.

واژه‌های کلیدی: ساختمان سبز، محیط‌زیست، ارزیابی ریسک، رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDM*).

نوع مقاله : پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲ داوری: ۱۳۹۹/۰۸/۰۹ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با افزایش شهرنشینی، رشد جمعیت جهانی و توسعه فعالیت‌های تولیدی و صنعتی، هشدارهای جهانی در مورد میزان مصرف انرژی و کنترل آلودگی با هدف حفظ زمین و منابع با ارزش آن افزایش‌یافته است. بر اساس گزارش سازمان ملل، بیش از نیمی از جمعیت جهان اکنون در مراکز شهری زندگی می‌کنند. رشد خالص جمعیت تقریباً به‌طور کامل در مناطق شهری رخ می‌دهد و تا سال ۲۰۵۰، محیط‌های شهری پذیرای ۲٫۶ میلیارد نفر جمعیت دیگر خواهند بود (گیرما و همکاران[۱]، ۲۰۱۹). اگرچه رشد زیرساختارهای

[۱] Girma et al.

* نویسنده مسئول

آدرس رایانامه: zarrinpoor@sutech.ac.ir

شناسه دیجیتال: DOI: 10.22105/dmor.2021.247961.1213

شهری وابسته به حامل‌های انرژی است، اما با توجه به محدود بودن ذخایر طبیعی و افزایش نیاز جمعیت جهان به منابع انرژی، جهان امروز با بحران انرژی مواجه است. در حال حاضر، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های بشریت به‌عنوان مهم‌ترین عامل در گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی شناخته‌شده است (چن و چن[۱]، ۲۰۱۷). بر اساس گزارش‌های موجود، انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر جهان از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ بیش از ۸۰ درصد افزایش‌یافته است که تهدید بزرگی برای اکوسیستم جهانی به شمار می‌رود (سنتیبانز-گنزالز[۲]، ۲۰۱۷).

صنعت ساختمان یکی از بزرگ‌ترین صنایع مصرف‌کننده انرژی در دنیا محسوب می‌شود. بر اساس گزارش‌های شورای ساختمان سبز آمریکا، *USGBC*[۳]، در سال ۲۰۱٤ صنعت ساخت‌وساز ٤۰ درصد از کل مواد خام جهان را مصرف نموده است (*USGBC*، ۲۰۱٤). گزارش شورای ساختمان سبز استرالیا، *GBCA*[٤]، در سال ۲۰۱۳ نیز حاکی از آن است که در عملیات ساخت‌وساز، ۳۲ درصد از منابع تجدیدپذیر و غیرقابل‌تجدید جهان، ۱۲ درصد از آب موجود و ٤۰ درصد از انرژی مصرف‌شده و همچنین ٤۰ درصد از تمام گازهای دی‌اکسید کربن منتشرشده از محل عملیات ساخت‌وساز است (*GBCA*، ۲۰۱۳). برای بهینه‌سازی مصرف مواد و انرژی در صنعت ساختمان، طیف وسیعی از سیاست‌های نظارتی و اجرایی اتخاذشده است. یکی از سیاست‌های اجرایی برای در نظر گرفتن الزامات زیست‌محیطی در صنعت ساختمان، ظهور پروژه‌های ساختمان سبز است که در پی افزایش تقاضا برای ساختمان‌هایی با سازه‌های پایدارتر و مصرف انرژی کمتر، به وجود آمده است. ساختمان سبز به‌عنوان راهی مؤثر برای رفع اختلافات بین توسعه سریع صنعت ساخت‌وساز و همچنین حفظ منابع در سایه توجه به افزایش سطح استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و حفظ دیگر منابع انرژی، محسوب می‌شود. در حال حاضر، سازه‌های سبز به جایگزین مناسبی در صنعت ساخت‌وساز در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته تبدیل‌شده است (پودا[٥] و یونگ[٦]، ۲۰۱٥). بر اساس گزارش‌های موجود، بیش از ۱۲/٤ میلیارد فوت مربع فضای ساختمان در بیش از ۱٥۰ کشور بر اساس گواهی *LEED* ساخته شده‌اند و ۱/۸٥ میلیون فوت مربع فضای ساختمان‌ها نیز بر اساس گواهی *LEED* هر روز تائید می‌شوند (دونگوان و همکاران[۷]، ۲۰۱٥). گواهی *LEED* به‌عنوان معیاری برای سنجش طراحی، ساخت و بهره‌برداری از ساختمان‌های سبز است و بر اساس آن صرفه‌جویی در انرژی، انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای و بهینه‌سازی سلامت ساکنین ساختمان میسر می‌شود.

طراحی و ساخت ساختمان‌های سبز به‌آسانی امکان‌پذیر نیست و موانعی نظیر پیچیدگی ساخت، کمبود پیمانکاران و مشاوران، عدم درک پایداری و امکان افزایش هزینه‌ها مانع گسترش بیشتر ساختمان‌های سبز شده است. بر اساس یک تحقیق و بررسی توسط شورای ساختمان سبز ایالات‌متحده، *USGBC*، مشخص شد که روش‌های ساخت ساختمان‌های سبز نسبتاً نوظهور هستند و استفاده از فناوری‌ها و روش‌های جدید می‌تواند منجر به بروز خطرات احتمالی شود. با رشد صنعت ساختمان سبز، ریسک‌های خاص مربوط به انتظارات، مقررات و تکنولوژی‌های جدید به‌تدریج پدیدار شده است؛ بنابراین صنعت ساخت‌وساز باید با چالش‌های جدیدی در هنگام برخورد با سازوکارهای مدیریت ریسک روبرو شود (*USGBC*، ۲۰۱٥). اگرچه توسعه ساختمان‌های سبز در راستای افزایش نیازهای بازار است، اما خطرات ذاتی پروژه‌های سبز به‌شدت در توسعه ساختمان‌های سبز تأثیر می‌گذارد (کین و همکاران[۸]، ۲۰۱٦). بنابراین ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز ضروری به نظر می‌رسد. اجرای طرح توسعه ساختمان سبز با توجه به رفتار محافظه‌کارانه و سنتی ذینفعان در محیط‌های مختلف، با چالش‌های زیاد و تضعیف ارتباط بین ذینفعان تیم پروژه روبرو شده است. طبق نسخه پنجم راهنمای *PMBOK*[۹]، ریسک پروژه، یک رویداد یا شرایط نامشخص است که تأثیر مثبت یا منفی روی یک یا چند هدف پروژه مانند دامنه، برنامه، هزینه یا کیفیت خواهد داشت (*PMBOK*، ۲۰۱۳). عوامل ریسک مختلفی نظیر چالش‌های فنی، فقدان مقررات قانونی، قیمت‌گذاری، کمبود دانش و انگیزه با ساخت ساختمان‌های سبز حاصل‌شده است (لو و همکاران[۱۰]، ۲۰۱۳).

---

[۱] Chen and Chen
[۲] Santibanez-Gonzalez
[۳] U.S. Green Building Council
[٤] Green Building Council of Australia
[٥] Poveda
[٦] Young
[۷] Donghwan et al.
[۸] Qin et al.
[۹] Project Management Body of Knowledge
[۱۰] Lu et al.

ساختمان‌های سبز ساختار پیچیده‌تر و ریسک‌های خاص‌تری را نسبت به ساختمان‌های عادی دارند و به همین دلیل فاز مطالعاتی و ساخت این‌گونه بناها باید بسیار دقیق‌تر انجام شود. همچنین با به بلوغ رسیدن ساخت ساختمان‌های سبز، ریسک‌های فنی و نهفته دیگر مربوط به تکنولوژی ساخت، قوانین و انتظارات مشتریان از ساختمان‌های سبز نیز نمایان شده است. با توجه به ناشناخته بودن ابعاد مختلف ریسک‌های موجود در ساخت این‌گونه ساختمان‌ها، لازم است تا با مشاوره و به کار بردن روش‌های مرسوم، ریسک‌های بالقوه شناسایی و تجزیه‌وتحلیل شوند تا متقاضیان پروژه ساختمان سبز بتوانند ریسک‌های موجود را ارزیابی و اقداماتی برای کاهش تأثیرات احتمالی ریسک انجام دهند. شایان‌ذکر است که تاکنون درزمینهٔ شناسایی، ارزیابی و تحلیل ریسک‌های ساختمان سبز مطالعات بسیار کمی انجام شده است؛ بنابراین تحلیل ریسک توسط ذینفعان پروژه، منجر به تدوین یک لیست جامع از ریسک‌های موجود و تأثیرات آن‌ها بر صنعت ساخت‌وساز سبز می‌شود و به تسهیل ارتباطات درون تیم‌های پروژه کمک بسیاری می‌کند.

هدف این مقاله ارزیابی ریسک صنعت نوظهور ساختمان‌های سبز در ایران است. ایران یکی از کشورهای پرمصرف انرژی است و میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان در ایران بیش از ۴۰ درصد است. ایران، علی‌رغم داشتن یک درصد از جمعیت جهان، حدود ۱۶ درصد یارانه انرژی پرداخت می‌کند و میزان مصرف انرژی آن بیش از ۳ برابر متوسط جهانی است. اگرچه ساختمان‌های سبز به‌عنوان راهکاری مؤثر در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش مسکن به شمار می‌رود، اما ریسک‌های ذاتی ساختمان‌های سبز می‌تواند از توسعه آن‌ها جلوگیری نماید؛ بنابراین شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها در هر یک از مراحل طراحی، ساخت و اجرا ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به عدم وجود تجربه کافی در صنعت ساخت‌وساز سبز در ایران، شناسایی عوامل ریسک و تمرکز بر علل ایجاد آن می‌تواند بر موفقیت پروژه‌های ساختمان‌های سبز و توسعه کشور با سازه‌های سازگار با محیط‌زیست تأثیر بسزایی داشته باشد. در راستای ارزیابی ریسک، ابتدا معیارهای ریسک از طریق خبرگان صنعت ساختمان و ابنیه متشکل از مهندسین مشاور، طراحان، مجریان و پیمانکاران استان فارس شناسایی و در پنج گروه طبقه‌بندی می‌شوند. از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای[۱] (*ANP*) و روش دیمتل برای رتبه‌بندی ریسک‌ها و بررسی رابطه بین آن‌ها استفاده می‌شود. برای بررسی قابلیت کاربرد روش پیشنهادی جهت ارزیابی ریسک، پروژه‌های ساختمانی سبز در شهر شیراز مورد بررسی قرار می‌گیرد. ادامه این مقاله به‌صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش بعدی مرور ادبیات موضوع ارائه خواهد شد. روش پژوهش در بخش سوم با در نظر گرفتن روش دیمتل و روش *ANP* ارائه می‌شود. در بخش چهارم یافته‌های پژوهش بر اساس مطالعه موردی ارائه‌شده و بخش آخر نیز شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی جهت تحقیقات آتی است.

۲- پیشینه پژوهش

در دهه‌های گذشته، ساخت ساختمان‌ها باعث ایجاد اثرات نامطلوب زیست‌محیطی نظیر انتشار گازهای گلخانه‌ای، تولید نخاله‌های ساختمانی و مصرف بیش‌ازحد انرژی‌های تجدیدناپذیر شده است. از این‌رو ساختمان‌های سبز با تکیه بر تکنولوژی‌های جدید دوست‌دار محیط‌زیست به‌عنوان یک راهکار جدید موردتوجه دولت‌ها و جوامع قرار گرفتند (فرانکو و همکاران[۲]، ۲۰۲۰). ساختمان‌های سبز نه‌تنها موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند، بلکه استفاده بهینه از منابع نظیر زمین، آب، خاک، مواد و مصالح ساختمانی را فراهم می‌کنند (یادگاری‌دهکردی و همکاران[۳]، ۲۰۲۰). با انتخاب و کاربرد صحیح مصالح ساختمان‌های سبز، پیاده‌سازی ابعاد مختلف پایداری شامل بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در طول چرخه عمر ساختمان میسر می‌شود (خوشنوا و همکاران[۴]، ۲۰۱۸). قیمت ساختمان‌های سبز و اجاره‌بهای آن‌ها نیز به‌مراتب بیشتر از ساختمان‌های عادی است که این موضوع می‌تواند برای سرمایه‌گذاران بخش مسکن جذاب باشد (سنگ و همکاران[۵]، ۲۰۲۰).

اگرچه ساختمان‌های سبز، با کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، فضایی آرام، سالم و کارا را برای زندگی به ارمغان می‌آورند، اما دارای عوامل ریسک نهفته و مسائل پیچیده‌تری نسبت به دیگر ساختمان‌ها هستند. تاکنون تحقیقات مختلفی در خصوص بررسی ریسک

---

[۱] Analytic Network Process
[۲] Franco et al.
[۳] Yadegaridehkordi et al.
[۴] Khoshnava et al.
[۵] Song et al.

ساختمان‌های سبز انجام‌شده است که در این بخش به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود. شایان‌ذکر است که در بخشی از تحقیقات تنها ریسک ساختمان‌های سبز شناسایی‌شده است و تنها تعداد کمی از مقالات به ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز پرداخته‌اند. بر اساس مقاله تولاکز[۱] (۲۰۰۸) مهم‌ترین ریسک برای ساخت یک ساختمان سبز، دریافت گواهینامه‌های ساختمان‌های سبز است. در کتاب گلاوینیچ[۲] (۲۰۰۸) بیان شده است که طراحی و ساخت پایدار یک ساختمان سبز می‌تواند بر ریسک قرارداد تهیه مواد، توالی و برنامه‌ریزی کاری پروژه، بهره‌وری و خاتمه پروژه تأثیر زیادی داشته باشد. روبیچاد[۳] و آنانتاتمولا[۴] (۲۰۱۱) از عدم توانایی در تکمیل ساختمان‌های سبز با بودجه پیش‌بینی شده، به‌عنوان یک مانع مهم در گسترش ساخت ساختمان‌های سبز یاد می‌کنند. لازم به ذکر است که به دلیل توسعه سریع صنعت ساخت‌وساز، افراد کمی به ریسک‌های این صنعت توجه نموده‌اند. ژو و همکاران[۵] (۲۰۱۰) از پیشتازان مطالعه ریسک ساختمان‌های سبز در استرالیا هستند که در مطالعه خود ۱۲ ریسک اصلی تأثیرگذار بر روند ساخت ساختمان‌های سبز را مشخص نمودند. ژو و کوانی[۶] (۲۰۱۲) نحوه مدیریت و تعیین ریسک‌های ساختمان سبز را از منظر زنجیره تأمین مشخص کردند.

یانگ[۷] و ژو (۲۰۱٤)، از روش آنالیز شبکه اجتماعی برای ارزیابی و تحلیل ریسک ساخت ساختمان‌های سبز استفاده و ریسک‌ها و ذینفعان بحرانی این نوع پروژه‌ها را مشخص نمودند. کین و همکاران (۲۰۱٦)، ٥٦ ریسک در زمینه‌های مختلف سیاسی، اجتماعی، اداری، مالی، کیفیت و تکنیکی در سراسر چرخه حیات ساختمان‌های سبز در کشور چین شناسایی کردند و با به‌کارگیری روش رتبه‌بندی اسپیرمن، ۳٦ مورد از آن‌ها را به‌عنوان اثرگذارترین ریسک‌ها تعیین نمودند. یانگ و همکاران[۸] (۲۰۱٦)، اثرات ریسک‌های ساخت ساختمان‌های سبز را بر ذینفعان بررسی نمودند و با مقایسه قوانین دو کشور استرالیا و چین بیان کردند که قوانین دولتی نقش بسیار مهمی در ریسک ساختمان‌های سبز ایفا می‌کند. بر اساس مقاله آن‌ها، سازندگان و توسعه‌دهندگان ساختمان‌های سبز در حین عملیات ساخت بیشتر با ریسک‌های مالی و مقرراتی مواجه هستند. عدم توانایی سازندگان در دستیابی به ملزومات گواهینامه‌ها ممکن است موجب ایجاد انگیزه برای نقض قوانین سخت‌گیرانه موجود شود. همچنین فضای سبز زیاد در نظر گرفته‌شده در این‌گونه ساختمان‌ها ممکن است موجب شود منافع ساخت ساختمان‌های سبز و میزان فضای مفید ساختمان کاهش یابد. قبادی و همکاران[۹] (۲۰۱۹)، ریسک‌های ساختمان‌های سبز در شهرستان سوادکوه را شناسایی و ارزیابی کردند. بر اساس تحقیق آن‌ها مشخص شد که کیفیت بد مواد و نامناسب بودن تجهیزات از مهم‌ترین ریسک‌های ساختمان سبز هستند. ژانگ[۱۰] و مهندس[۱۱] (۲۰۲۰)، ریسک‌های ایمنی و سلامتی شغلی برای کارکنان پروژه‌های ساختمان‌های سبز را با استفاده از روش دلفی شناسایی و بر اساس روش تاپسیس مبتنی بر تئوری فازی و اعداد Z ارزیابی نمودند. گوان و همکاران[۱۲] (۲۰۲۰)، ریسک‌های ساختمان‌های سبز را با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری با در نظر گرفتن وابستگی‌های درونی ریسک‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار دادند. آن‌ها ریسک‌ها را در ابعاد هزینه، برنامه زمان‌بندی، کیفیت، ایمنی، زیست‌محیطی و کارایی در طول عمر پروژه طبقه‌بندی نمودند.

جدول ۱ خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام‌شده درزمینهٔ ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشتر تحقیقات درزمینهٔ ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز در کشورهای چین و استرالیا انجام‌شده است. با توجه به این‌که محدوده کشور موردمطالعه در پژوهش‌ها متفاوت است، ابعاد ریسک‌های شناسایی‌شده نیز بر اساس نظرات خبرگان صنعت ساخت‌وساز سبز کشور موردمطالعه متفاوت است. با توجه به‌ضرورت توسعه ساختمان‌های سبز در کشور ایران و تعداد تنها یک مقاله در این زمینه، لزوم شناسایی و ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز در ایران آشکار می‌شود. در این مقاله با استفاده از رویکرد ترکیبی دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای، مجموعه‌ای از ریسک‌های موجود در ساختمان‌های سبز بر اساس نظرات خبرگان این صنعت شناسایی و با بررسی مطالعه موردی در شهر شیراز ارزیابی و رتبه‌بندی شده است.

---

[۱] Tulacz
[۲] Glavinich
[۳] Robichaud
[۴] Anantatmula
[۵] Zou et al.
[۶] Zou and Couani
[۷] Yang
[۸] Yang et al.
[۹] Ghobadi et al.
[۱۰] Zhang
[۱۱] Mohandes
[۱۲] Guan et al.

جدول ۱- خلاصه پژوهش‌های انجام‌شده درزمینه ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز.

Table 1- The summary of researches conducted in the field of the risk evaluation of green buildings.

ردیف	محققین	روش استفاده‌شده	ابعاد ریسک‌های شناسایی‌شده	مطالعه موردی
1	ژو و کوانی (۲۰۱۲)	جمع‌آوری داده با پرسشنامه و تحلیل آماری	اقتصادی، مدیریتی، فنی و کیفیت	استرالیا
2	یانگ و ژو (۲۰۱۴)	مدل آنالیز شبکه اجتماعی	اقتصادی، زمان، زیست‌محیطی، مدیریتی، فنی و کیفیت، ایمنی	استرالیا
3	کین و همکاران (۲۰۱۶)	تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با شاخص اهمیت ریسک	استانداردها، سیاسی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، مدیریتی، فنی و کیفیت	چین
4	یانگ و همکاران (۲۰۱۶)	مدل آنالیز شبکه اجتماعی	استانداردها، اقتصادی، زمان، زیست‌محیطی، ایمنی، مدیریتی، فنی و کیفیت	چین و استرالیا
5	قبادی و همکاران (۲۰۱۹)	روش فازی دیمتل و ANP	اقتصادی، مدیریتی، فنی و کیفیت	ایران
6	ژانگ و مهندس (۲۰۲۰)	روش تاپسیس مبتنی بر تئوری فازی و اعداد Z	سلامتی و ایمنی شغلی	هنگ‌کنگ
7	گوان و همکاران (۲۰۲۰)	مدل‌سازی ساختاری تفسیری	برنامه زمان‌بندی، فنی و کیفیت، ایمنی، زیست‌محیطی	سنگاپور
8	پژوهش حاضر	روش دیمتل و ANP	سیاست‌ها و استانداردها، اقتصادی، زیست‌محیطی، مدیریتی، فنی و کیفیت	ایران

۳- مواد و روش پژوهش

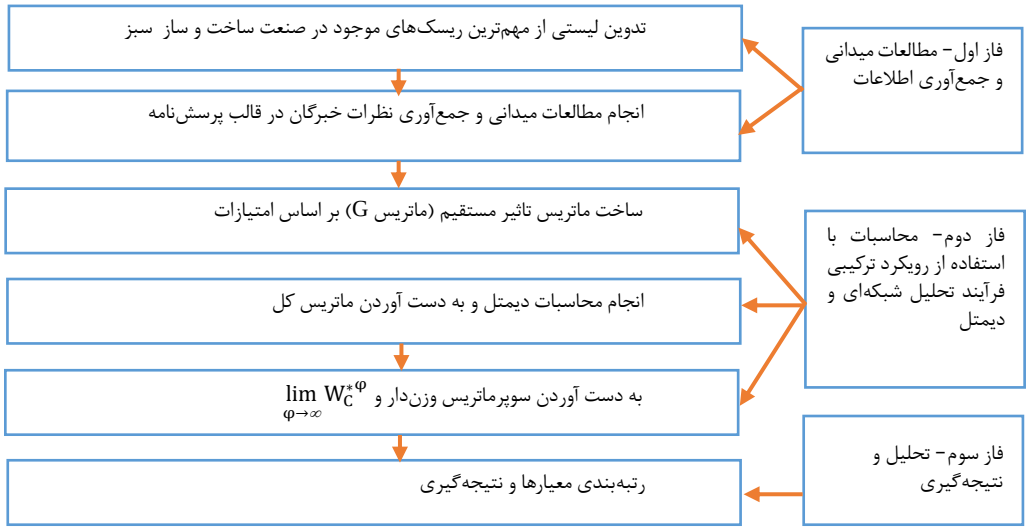
پژوهش حاضر از لحاظ هدف از نوع کاربردی و بر اساس شیوه جمع‌آوری داده‌ها از نوع پیمایشی- تحلیلی است. هدف اصلی این پژوهش، ارائه چارچوبی مناسب جهت ارزیابی ریسک پروژه‌های ساختمان‌های سبز است. در این راستا، ابتدا معیارهای تأثیرگذار بر ریسک ساختمان‌های سبز با استفاده از نظرات کارشناسان درگیر در پروژه‌های ساختمان‌های سبز نظیر مهندسین مشاور و طراحان، مجریان و پیمانکاران استان فارس شناسایی‌شده است. همچنین برخی از ریسک‌ها نیز از طریق مطالعه تحقیقات موجود در ادبیات موضوع، طراحی و تدوین‌شده است. پرسش‌نامه‌های طراحی‌شده بر اساس نظرات ذینفعان داخلی و خارجی پروژه تکمیل و روایی پرسش‌نامه‌ها نیز پس از نظرسنجی از اساتید دانشگاه تائید شده است. برای انتخاب تأثیرگذارترین معیار بر ریسک پروژه‌های ساختمان سبز، از روش ترکیبی دیمتل و *ANP* (*DANP*)[1] استفاده شده است. شایان‌ذکر است که روش دیمتل ارتباط بین عوامل و تأثیر هر یک از آن‌ها بر یکدیگر را بررسی می‌کند و روش *ANP* نیز ارجحیت هر یک از عوامل تأثیرگذار بر ریسک ساختمان‌های سبز را مشخص می‌کند. الگوی پژوهش حاضر بر اساس **شکل ۱** است. در ادامه هر یک از مراحل پژوهش با توجه به این شکل تشریح می‌شود.

۳-۱- شناسایی معیارها

در فازهای مطالعاتی، اجرا و بهره‌برداری ساختمان‌های سبز، تیم اجرایی پروژه متشکل از مالک پروژه، طراح، پیمانکاران و مهندسین مشاور با اولویت‌ها و اهداف متفاوت با یکدیگر برای تحویل پروژه همکاری و هم‌فکری می‌کنند. با توجه به این‌که درک تیم اجرایی پروژه از اهمیت عوامل ریسک در هر مرحله از چرخه ساخت ساختمان‌های سبز متفاوت است، در این پژوهش عوامل ریسک از دیدگاه همه اعضای درگیر در اجرای پروژه شناسایی‌شده است.

جدول ۲ عوامل ریسک تأثیرگذار در ساختمان‌های سبز را نشان می‌دهد. در ادامه هر یک از معیارها نیز تشریح می‌شوند.

[1] DEMATEL-based analytic network process



شکل ۱- روش‌شناسی پژوهش حاضر.

Figure 1- The methodology of the present study.

۱-۱-۳- سیاست‌ها و استانداردها

نظر به این‌که دستگاه‌های اجرایی مختلف نظیر وزارت راه و شهرسازی، وزارت نیرو، سازمان شهرداری و سازمان نظام‌مهندسی ساختمان در تائید و تصویب ساختمان‌های سبز دخیل هستند، بنابراین هر یک از آن‌ها استانداردها و سیاست‌های اجرایی مختلفی را اتخاذ می‌کنند و اختلاف‌نظر بین آن‌ها می‌تواند تصویب و اجرایی کردن مقررات مربوط به ساختمان‌های سبز را دچار چالش کند. از سوی دیگر، وجود خدمات بیمه‌ای در تمام سطوح برای یک پروژه ساخت‌وساز ضروری است؛ اما بیمه خاصی برای مرحله ساخت ساختمان‌های سبز از سوی سازمان‌های بیمه در نظر گرفته نشده است (یانگ و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۱-۳- ریسک‌های اقتصادی

مواد اولیه ساختمان‌های سبز باید دارای تأثیر کم و یا بدون تأثیر بر انسان و محیط‌زیست باشند تا موجب کاهش مصرف انرژی، انتشار گاز دی‌اکسید کربن و آلودگی داخلی ساختمان شوند. نظر به این‌که ساکنین ساختمان، بیش از ۸۰ درصد از زمان خود را در خانه سپری می‌کنند، مواد خطرناک می‌تواند به‌طور مستقیم بر کیفیت محیط داخلی ساختمان و درنتیجه بر سلامت ساکنان تأثیر منفی بگذارد (فرنتسزاک[۱] و وارگکی[۲]، ۲۰۱۱). اگرچه مواد اولیه ساختمان‌های سبز موجب کاهش مضرات زیست‌محیطی می‌شود، اما نسبت به مواد اولیه ساختمان‌های عادی گران‌تر است. علاوه بر این، هزینه‌های اخذ گواهینامه *LEED* موجب افزایش غیرمنتظره هزینه‌های مالکین ساختمان‌های سبز خواهد شد. نظر به این‌که نرخ تورم متأثر از پارامترهای دنیای واقعی نظیر هزینه انرژی، نرخ بهره، در دسترس بودن و هزینه نیروی کار ماهر، پایداری سیاسی و کمیاب بودن مواد اولیه است، با تأثیر آن در محاسبات اقتصادی ممکن است جذابیت اقتصادی طرح توجیه‌پذیر نباشد (کین و همکاران، ۲۰۱۶؛ خوشنوا و همکاران، ۲۰۱۸). یکی دیگر از ریسک‌های اقتصادی ساختمان‌های سبز، عدم برآورد دقیق از میزان بازده سرمایه‌گذاری ساختمان سبز در بلندمدت است. با توجه به این‌که تعداد ساختمان‌های سبز در کشور ما اندک است، در حال حاضر مکانیزم مشخصی برای برآورد دقیق میزان بازده سرمایه‌گذاری وجود ندارد و این موضوع باعث عدم تخصیص بودجه کافی از سمت تأمین‌کننده مالی و همچنین بی‌رغبتی سازندگان و خریداران ساختمان‌های سبز شده است.

---

[۱] Frontczak
[۲] Wargocki

جدول ۲- ریسک‌های شناسایی‌شده.
Table 2- Identified risks.

نماد	عنوان ریسک	نماد فرعی	زیرمعیار ریسک	منابع
R_1	سیاست‌ها و	R_{11}	قوانین دولتی و مراحل تصویب پیچیده	یانگ و همکاران (۲۰۱۶)
	استانداردها	R_{12}	عدم وجود بیمه خاص برای مرحله ساخت ساختمان‌های سبز	
R_2	اقتصادی	R_{21}	قیمت بالای مواد اولیه ساختمان سبز	فرنتسزاک و وارگکی (۲۰۱۱)
		R_{22}	افزایش هزینه غیرمنتظره مالک	کین و همکاران (۲۰۱۶)
		R_{23}	افزایش هزینه گواهینامه ساختمان سبز	خوشنوا و همکاران (۲۰۱۸)
		R_{24}	عدم توجه به تأثیر تورم در محاسبات اقتصادی	
		R_{25}	عدم تخصیص بودجه کافی از سمت تأمین‌کننده مالی به دلیل عدم جذابیت طرح	
		R_{26}	عدم برآورد دقیق از میزان بازده سرمایه‌گذاری ساختمان سبز در بلندمدت	
R_3	زیست‌محیطی	R_{31}	تولید ضایعات	کین و همکاران (۲۰۱۶)
		R_{32}	مصرف انرژی بیش از مقدار پیش‌بینی‌شده	خوشنوا و همکاران (۲۰۱۸)
		R_{33}	آلودگی صوتی، آب، خاک و هوا	گوان و همکاران (۲۰۲۰)
R_4	مدیریتی	R_{41}	نداشتن تجربه کافی در مدیریت ساختمان‌های سبز	یانگ و ژو (۲۰۱۴)
		R_{42}	عدم‌هماهنگی بین اعضای تیم اجرایی پروژه	کین و همکاران (۲۰۱۶)
		R_{43}	تأخیر پروژه	یانگ و همکاران (۲۰۱۶)
R_5	فنی و کیفیت	R_{51}	کمبود مشاوران باتجربه در ساختمان سبز	یانگ و همکاران (۲۰۱۶)
		R_{52}	عدم وجود تجربه کافی در ساخت‌وساز با فناوری‌های جدید	خوشنوا و همکاران (۲۰۱۸)
		R_{53}	عملکرد نامطلوب مواد اولیه سبز	

۳-۱-۳- ریسک‌های زیست‌محیطی

در ساخت ساختمان‌های سبز، بحث کارایی در مصرف انرژی و کاهش ضایعات به‌عنوان یکی از معیارهای اصلی در انتخاب مواد سبز و فناوری‌های ساخت موردتوجه قرار می‌گیرد. علاوه بر کارایی در مصرف انرژی، کیفیت هوای درون ساختمان‌ها و آلودگی‌های صوتی، آب‌وخاک پیرامون ساختمان‌ها، به یک چالش مهم در میان جامعه علمی تبدیل‌شده است. در این زمینه، با پیروی از استانداردها و قوانین ساخت سعی می‌شود که آلودگی ساخت ساختمان‌ها به حداقل برسد؛ بنابراین عوامل تولید ضایعات، مصرف انرژی بیش از مقدار پیش‌بینی‌شده و آلودگی‌های صوتی، آب، خاک و هوا به‌عنوان مهم‌ترین ریسک‌های زیست‌محیطی در این پژوهش در نظر گرفته‌شده است (گوان و همکاران، ۲۰۲۰؛ کین و همکاران، ۲۰۱۶؛ خوشنوا و همکاران، ۲۰۱۸).

۴-۱-۳- ریسک‌های مدیریتی

ساخت ساختمان‌های سبز به علت نوپا بودن در سطح پیشرفته آن، با چالش‌هایی نظیر عدم تجربه کافی مدیران پروژه مواجه است. تیم اجرایی این پروژه‌ها برای داشتن هماهنگی و تجربه کاری به زمان نیاز دارند و این امر در کوتاه‌مدت محقق نمی‌شود. زمانی که تیم‌های پروژه نتوانند به خوبی با هم همکاری کنند، زمان ساخت ساختمان‌های سبز با تأخیر مواجه می‌شود. تأخیر در پروژه‌ها یکی از نگرانی‌های اصلی کارفرمایان و پیمانکاران است که هزینه‌های بسیار زیادی را متوجه ذینفعان پروژه می‌سازد (یانگ و ژو، ۲۰۱٤؛ کین و همکاران، ۲۰۱٦؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱٦).

با توجه به نوظهور بودن صنعت ساخت‌وساز سبز در ایران، تعداد مشاوران خبره و باتجربه که با تکیه بر علم و دانش خود بتوانند در هر یک از مراحل طراحی، مطالعه و نظارت بر پروژه سیاست‌های اصولی و صحیح اتخاذ نمایند، بسیار اندک است. همچنین تجربه کافی برای ساخت‌وساز با فناوری‌های جدید وجود ندارد. از سوی دیگر، مواد ساخت ساختمان‌های سبز باید موادی پیشرفته با قابلیت و کارایی بالا و سازگار با محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها باشد. این مواد لزوماً باید قابل بازیافت باشند و با این هدف طراحی شوند که در تمام چرخه عمر خود بر سلامت انسان و محیط‌زیست تأثیر بدی نداشته باشند (خوشنوا و همکاران، ۲۰۱۸). اگرچه فرآیند انتخاب مواد اساساً برای مواد سبز و غیرسبز یکسان است اما انتخاب مواد سبز همراه با مسئولیت‌پذیری‌های بیشتری است و با توجه به معیارهای عملکرد سبز و پایداری شکل می‌گیرد. با توجه به جدید بودن مواد سبز، انتخاب آن‌ها منجر به بروز برخی از نگرانی‌ها در مورد کیفیت و عملکرد آن‌ها در بلندمدت شده است (یانگ و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۳- تکنیک DANP

هدف این مطالعه ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز با استفاده از تکنیک *DANP* است که روش‌های دیمتل و *ANP* را به‌صورت مؤثر ترکیب می‌کند. روش *ANP* از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که فرآیندهای تصمیم‌گیری با ارتباطات بسیار پیچیده و وابستگی‌های درونی بین معیارها را میسر می‌سازد. این تکنیک نه تنها امکان مقایسات زوجی زیرمعیارهای تحت معیار اصلی را فراهم می‌آورد، بلکه به‌صورت مستقل همه زیرمعیارهای در تعامل با یکدیگر را با هم مقایسه می‌کند (مهانتی و همکاران[۱]، ۲۰۰۵). اجرای یک پروژه ساختمانی، مستلزم انجام تعداد زیادی از فعالیت‌ها با توجه به محدودیت‌های زمان، ماشین‌آلات، نیروی انسانی، سرمایه و سایر امکانات موجود است. از آن‌جا که دستیابی به تعادل بین سه عامل هزینه، کیفیت و زمان پروژه، مستلزم بررسی روابط پیچیده بین صدها فعالیت از دیدگاه ذینفعان داخلی و خارجی با اهداف متضاد است، این روش به‌صورت موفقیت‌آمیز در صنعت ساخت‌وساز مورداستفاده قرارگرفته است. از موارد کاربرد این روش می‌توان به انتخاب مواد و مصالح پایدار برای ساختمان‌ها (محمودکلای و همکاران[۲]، ۲۰۱۸)، انتخاب پیمانکار برای پروژه‌های ساخت جاده (هسنیان و همکاران[۳]، ۲۰۱۷)، انتخاب مکان برای ساخت سد (طالبی و همکاران[۴]، ۲۰۱۹)، ارزیابی کارایی انرژی ساختمان‌های هتل (اکسو و همکاران[۵]، ۲۰۱۴) و ارزیابی ساختمان‌های سبز (ایگناتیوس و همکاران[۶]، ۲۰۱۶) اشاره کرد. رویکرد ترکیبی *DANP* نیز در ارزیابی فاکتورهای کلیدی موفقیت پروژه‌های ساخت‌وساز پایدار (ماوی و همکاران[۷]، ۲۰۱۸) و پروژه‌های ساخت‌وساز عادی (نیلاشی و همکاران[۸]، ۲۰۱۵) مورداستفاده قرار گرفته است. مراحل ایجاد نقشه روابط شبکه مؤثر، *INRM*، با استفاده از تکنیک دیمتل و تعیین وزن مؤثر روش *DANP* بر اساس ماتریس مؤثر کل در ادامه نوشتار بر اساس رویکرد چیو و همکاران[۹] (۲۰۱۳) تشریح شده است.

مرحله ۱- محاسبه ماتریس تأثیر مستقیم بر اساس امتیازات.

تأثیر متقابل بین هر یک از معیارها، بر اساس نظرات کارشناسان خبره با استفاده از ماتریس تأثیر مستقیم G در یک بازه بین ۰ تا ٤ ارزیابی می‌شود. در این بازه اعداد صفر، ۱، ۲،۳ و ٤ به ترتیب نشان‌دهنده کاملاً بی‌تأثیر، دارای تأثیر کم، دارای تأثیر متوسط، دارای تأثیر زیاد و تأثیر بسیار زیاد است. کارشناسان خبره لازم است که تأثیرات مستقیم معیارها را با مقایسه زوجی بین آن‌ها محاسبه نمایند. اگر معیار i بر معیار j تأثیر داشته باشد، عدد مربوط به درجه اهمیت آن با درایه g_c^{ij} مشخص می‌شود. بدین ترتیب ماتریس G به‌صورت زیر تشکیل می‌شود:

---

[۱] Mohanty et al.
[۲] Mahmoudkelaye et al.
[۳] Hasnain et al.
[۴] Talebi et al.
[۵] Xu et al.
[۶] Ignatius et al.
[۷] Mavi et al.
[۸] Nilashi et al.
[۹] Chiu et al.

$$G=\begin{bmatrix} g_c^{11} & \cdots & g_c^{1j} & \cdots & g_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ g_c^{i1} & \cdots & g_c^{ij} & \cdots & g_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ g_c^{n1} & \cdots & g_c^{nj} & \cdots & g_c^{nn} \end{bmatrix}. \quad (۱)$$

مرحله ۲- نرمال‌سازی ماتریس G.

نرمال‌سازی شده ماتریس G ، ماتریس X است که از طریق فرمول $X=VG$ به دست می‌آید. ضریب V نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V=min_{i,j}\left\{\frac{1}{\max\limits_i \sum_{j=1}^{n} g_c^{ij}}\ ,\ \frac{1}{\max\limits_j \sum_{i=1}^{n} g_c^{ij}}\right\}\ ,\quad i,j\in\{1,2,3,\ldots,n\}. \quad (۲)$$

شایان ذکر است که درایه‌های قطر اصلی ماتریس X عدد صفر و حداکثر مقادیر درایه‌های دیگر عدد یک است.

مرحله ۳- به دست آوردن ماتریس مؤثر کل.

بعد از به دست آوردن ماتریس X می‌توان بر اساس معادله زیر ماتریس کل، T_c ، را به دست آورد.

$$T_c=X+X^2+X^3\ldots+X^l=X(I+X+X^2\ldots+X^{l-1})(I-X)(I-X)^{-1}=X(I-X^l)(I-X)^{-1}=X(I-X)^{-1}\ ,when\ \lim_{l\to\infty} X^l=[0]_{n*n}. \quad (۳)$$

در معادله بالا I ماتریس یکه از مرتبه n، $X=[x_c^{ij}]_{n*n}$ ، $0\le x_c^{ij}<1$ ، $0<\sum_{j=1}^{n} x_c^{ij}\le 1$ و $0<\sum_{i=1}^{n} x_c^{ij}\le 1$ است. با این تفاسیر می‌توان $\lim\limits_{l\to\infty} X^l=[0]_{n*n}$ را بدست آورد.

مرحله ٤- تجزیه‌وتحلیل نتایج.

در این مرحله جمع سطری و جمع ستونی ماتریس $T_c=\left[t_c^{ij}\right]_{n*n}$ به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$r=\left[\sum_{j=1}^{n} t_c^{ij}\right]_{n\times 1}=(r_1,\ldots,r_i,\ldots,r_n)t, \quad (۴)$$

$$s=\left[\sum_{i=1}^{n} t_c^{ij}\right]_{1\times n}=(s_1,\ldots,s_i,\ldots,s_n)t. \quad (۵)$$

بردارهای r و s نشان‌دهنده مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس $T_c=[t_c^{ij}]_{n*n}$ و علامت t نشان‌دهنده ترانهاده ماتریس است. اگر $i=j$ باشد، بردار عمودی (r_i-s_i) می‌تواند معیارها را به دو گروه تأثیرگذار و تأثیرپذیر تقسیم کند. اگر (r_i-s_i) مثبت باشد، معیار موردبررسی در دسته معیارهای تأثیرگذار و در صورت منفی بودن (r_i-s_i)، معیار موردبررسی در دسته معیارهای تأثیرپذیر قرار می‌گیرد. می‌توان با رسم نموداری به مختصات نقاط $(r_i+s_i,\ r_i-s_i)$، نمودار علی یا *INRM* را ترسیم نمود. در این مرحله دو ماتریس تأثیر مختلف شامل $T_c=\left[t_c^{ij}\right]_{n*n}$ مربوط به n معیار و ماتریس $T_D=[t_D^{ij}]_{m*m}$ مربوط به m بعد به دست می‌آید. ماتریس T_c در نمای کلی به صورت زیر است:

$$T_c=\begin{bmatrix} T_c^{11} & \cdots & T_c^{1j} & \cdots & T_c^{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{i1} & \cdots & T_c^{ij} & \cdots & T_c^{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{m1} & \cdots & T_c^{mj} & \cdots & T_c^{mm} \end{bmatrix}. \quad (۶)$$

مرحله ۵- نرمال‌سازی ماتریس تأثیر کل.

نظر به این‌که همه معیارها بر اساس نوع آن‌ها در چند گروه مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند، ماتریس تأثیر کل T_D به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_D=\begin{bmatrix} t_D^{11} & \cdots & t_D^{1j} & \cdots & t_D^{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{i1} & \cdots & t_D^{ij} & \cdots & t_D^{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{m1} & \cdots & t_D^{mj} & \cdots & t_D^{mm} \end{bmatrix}. \qquad (۷)$$

اگر مجموع هر ردیف را با $t_D^i=\sum_{j=1}^{m} t_D^{ij}$ مشخص کنیم، با تقسیم هر درایه ماتریس بالا بر مجموع ردیف مربوط به آن درایه، ماتریس T_D نرمال می‌شود. بنابراین می‌توان ماتریس T_D^{nor} را به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$T_D^{nor}=\begin{bmatrix} t_D^{nor_{11}} & \cdots & t_D^{nor_{1j}} & \cdots & t_D^{nor_{1m}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{nor_{i1}} & \cdots & t_D^{nor_{ij}} & \cdots & t_D^{nor_{im}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{nor_{m1}} & \cdots & t_D^{nor_{mj}} & \cdots & t_D^{nor_{mm}} \end{bmatrix}. \qquad (۸)$$

باید توجه داشت که مجموع هر سطر ماتریس T_D^{nor} برابر یک است.

مرحله ٦- نرمال‌سازی ماتریس با توجه به ابعاد و دسته‌ها.

در این مرحله، با توجه به درجه کلی تأثیر ابعاد و دسته‌ها یک ماتریس نرمال، T_C^{nor} ، به‌صورت زیر حاصل می‌شود:

$$T_C^{nor}=\begin{bmatrix} T_c^{nor_{11}} & \cdots & T_c^{nor_{1j}} & \cdots & T_c^{nor_{1m}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{nor_{i1}} & \cdots & T_c^{nor_{ij}} & \cdots & T_c^{nor_{im}} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{nor_{m1}} & \cdots & T_c^{nor_{mj}} & \cdots & T_c^{nor_{mm}} \end{bmatrix}. \qquad (۹)$$

مرحله ۷- ایجاد سوپر ماتریس ناموزون.

در این مرحله بر اساس ترانهاده ماتریس T_C^{nor} ، سوپر ماتریس ناموزون W_C به‌صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$W_c=(T_c^{nor})'=\begin{bmatrix} W_C^{11} & \cdots & W_C^{i1} & \cdots & W_C^{m1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W_C^{1j} & \cdots & W_C^{ij} & \cdots & W_C^{m1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ W_C^{1m} & \cdots & W_C^{im} & \cdots & W_C^{mm} \end{bmatrix}. \qquad (۱۰)$$

مرحله ۸- به دست آوردن سوپر ماتریس موزون.

در این مرحله، سوپر ماتریس W_C^* برای تعیین وزن‌های مؤثر معیارها، از طریق ضرب دو ماتریس T_D^{nor} و W_C به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$W_C^*=\begin{bmatrix} t_D^{nor_{11}}\times W_c^{11} & \cdots & t_D^{nor_{i1}}\times W_c^{i1} & \cdots & t_D^{nor_{m1}}\times W_c^{m1} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{nor_{1j}}\times W_c^{1j} & \cdots & t_D^{nor_{ij}}\times W_c^{ij} & \cdots & t_D^{nor_{mj}}\times W_c^{mj} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_D^{nor_{1m}}\times W_c^{1m} & \cdots & t_D^{nor_{im}}\times W_c^{im} & \cdots & t_D^{nor_{mm}}\times W_c^{mm} \end{bmatrix} \quad (۱۱)$$

مرحله ۹- تعیین اولویت نهایی معیارها.

سوپر ماتریس موزون W_C^*، به توان اعداد مختلف می‌رسد تا این‌که همگرایی ماتریس تضمین شود. بدین ترتیب سوپر ماتریس موزون W_C^* به یک سوپر ماتریس پایدار تبدیل می‌شود تا بردار اولویت کلی برای هر معیار با استفاده از رابطه $\lim_{\infty\to\varphi}\left(W_C^*\right)^{\varphi}$ بدست آید.

۴- بحث و ارائه یافته‌ها

در این پژوهش، برای ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز، یک مجتمع تجاری در حال ساخت واقع در شیراز انتخاب‌شده است. این مجتمع تجاری، بر اساس استانداردهای تعریف‌شده در ایران، بر طبق اصول ساختمان‌های سبز ساخته می‌شود. همان‌طور که در مرحله شناسایی معیارها بیان شد، بر اساس نظرات تیم خبرگان متشکل از دو مهندس مشاور، طراح پروژه، کارفرمای پروژه، دو نفر از پیمانکاران پروژه و همچنین پیشینه تحقیق، عوامل ایجاد ریسک ساختمان‌های سبز شناسایی و در پنج گروه دسته‌بندی شد. برای تشکیل ماتریس تأثیر مستقیم، پرسش‌نامه‌های طراحی‌شده توسط ٤ گروه از ذینفعان پروژه متشکل از مهندس مشاور، پیمانکار، کارفرمای پروژه و مشتریان پروژه تکمیل شد. سپس از طریق میانگین حسابی نظرات ذینفعان، ماتریس تأثیر مستقیم محاسبه شد. **جدول ۳** ماتریس تأثیر مستقیم را نشان می‌دهد.

در گام بعدی لازم است که ماتریس G به‌دست‌آمده به روش دیمتل نرمال شود. برای این کار ضریب V بر اساس **رابطه (۲)** محاسبه و مقدار آن ۰/۰۲۲ به دست آمد. ماتریس نرمال شده نیز از طریق معادله $X=VG$ محاسبه شد. برای محاسبه ماتریس تأثیرات کل T_c، ابتدا ماتریس $(I-X)^{-1}$ و سپس ماتریس T_c محاسبه می‌شود. با به دست آوردن دو معیار (r_i-s_i) و (r_i+s_i) می‌توان ارتباط بین عوامل ریسک را مشخص نمود. ماتریس، نشان‌دهنده میزان تأثیرپذیری و تأثیرگذاری عوامل در **جدول ٤** موجود است. برای بررسی بهتر تأثیرپذیری و تأثیرگذاری عوامل اصلی ریسک، نمودار علی در **شکل ۲** رسم شده است. در این نمودار، نقاط بیانگر هر یک از معیارهای اصلی ریسک و پیکان‌های رسم شده بیانگر ارتباط بین معیارها است.

جدول ۳- ماتریس G.

Table 3- Matrix G.

	G	R_1							R_2			R_3			R_4			R_5	
		R_{11}	R_{12}	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}	R_{25}	R_{26}	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{41}	R_{42}	R_{43}	R_{51}	R_{52}	R_{53}
R_1	R_{11}		2/10	1/90	3/30	3/20	2/60	3/60	3/90	2/50	2/30	2/00	2/80	2/50	4/00	2/70	1/90	1/10
	R_{12}	3/80		0/00	3/90	3/60	2/60	3/10	3/50	0/00	0/00	0/00	1/80	0/00	3/70	0/00	0/20	1/20
	R_{21}	0/40	3/00		2/30	1/10	0/00	3/10	3/30	0/00	0/00	0/00	1/30	0/40	4/00	2/80	2/90	0/00
	R_{22}	3/90	3/90	3/90		1/90	2/30	3/70	4/00	1/20	0/00	0/00	2/10	2/70	4/00	0/00	2/20	0/00
R_2	R_{23}	0/00	1/00	0/00	3/60		0/00	2/70	3/60	1/40	1/40	1/40	0/80	0/50	4/00	0/70	2/30	0/00
	R_{24}	1/40	1/40	0/00	3/40	1/80		2/40	3/50	0/00	0/00	0/00	0/00	0/20	3/10	0/00	0/00	0/10
	R_{25}	2/90	1/10	0/40	2/40	0/30	0/40		3/80	0/80	0/60	0/30	2/10	1/30	4/00	0/50	0/50	0/10
	R_{26}	3/80	3/60	2/40	2/20	3/30	3/10	3/90		1/70	1/90	2/50	1/40	3/30	4/00	0/90	2/60	1/30
	R_{31}	0/40	0/20	0/40	1/70	2/90	0/00	0/40	3/80		2/00	2/10	0/30	0/20	2/10	0/00	0/20	0/40
R_3	R_{32}	2/90	2/50	0/00	3/20	2/60	0/00	1/10	3/90	0/00		1/80	0/00	0/40	2/10	0/00	0/40	0/30
	R_{33}	3/00	2/40	0/00	0/90	3/10	0/00	0/60	2/10	3/00	0/50		0/00	1/10	1/90	0/00	0/00	0/60

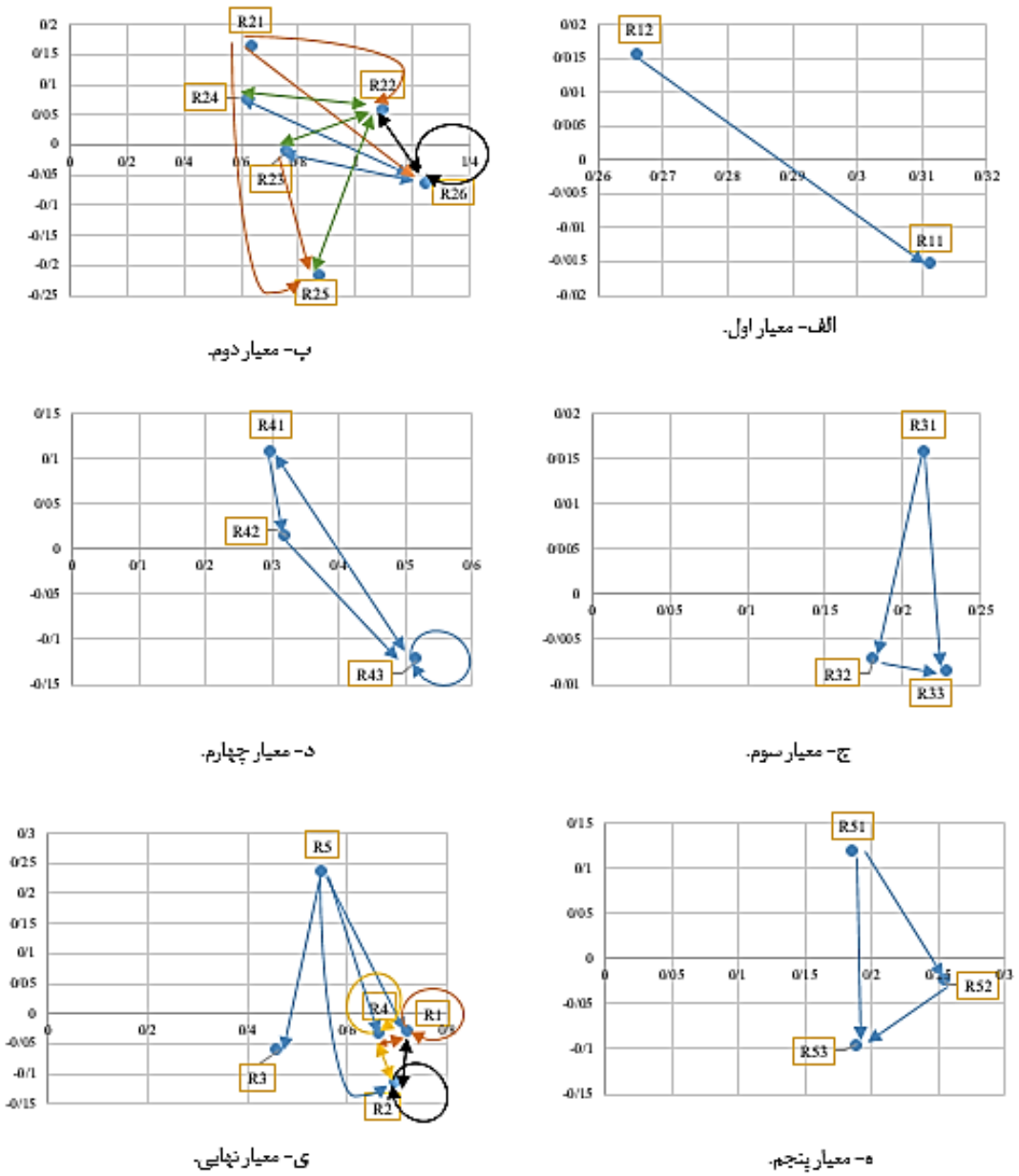
	G	R1						R2				R3		R4			R5	
		R_{11}	R_{12}	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}	R_{25}	R_{26}	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{41}	R_{42}	R_{43}	R_{51}	R_{52}	R_{53}
	R_{41}	0/20	0/60	1/20	3/00	2/70	1/10	2/90	3/90	2/70	3/10	2/40		1/30	3/80	0/00	1/70	3/10
R_4	R_{42}	1/30	0/30	0/40	2/70	1/70	1/50	1/60	3/90	0/40	1/60	0/80	0/30		4/00	0/00	3/30	0/10
	R_{43}	3/90	2/70	1/20	4/00	3/10	3/40	3/90	4/00	0/80	3/30	2/80	0/80	2/60		0/20	0/40	1/40
	R_{51}	3/40	3/50	0/40	3/20	2/70	1/20	3/10	4/00	2/60	2/30	2/20	2/20	1/50	2/80		3/10	2/10
R_5	R_{52}	2/70	2/60	2/70	2/80	3/10	3/20	3/00	3/50	3/40	3/00	3/10	3/40	2/10	3/20	0/00		2/90
	R_{53}	1/10	3/20	0/00	3/30	2/50	0/30	2/70	3/70	3/60	2/40	2/50	2/40	0/80	3/40	0/00	0/00	

جدول ٤- میزان اهمیت روابط زیرمعیارها.

Table 4- The importance of sub-criteria relationships.

زیر عوامل	r	s	r+s	r-s	نتیجه
R_{11}	1/5	1/32	2/82	0/18	تأثیرگذار
R_{12}	1/02	1/22	2/24	-0/2	تأثیرپذیر
R_{21}	0/95	0/60	1/55	0/35	تأثیرگذار
R_{22}	1/30	1/62	2/92	-0/32	تأثیرپذیر
R_{23}	0/87	1/40	2/27	-0/53	تأثیرپذیر
R_{24}	0/66	0/86	1/52	-0/2	تأثیرپذیر
R_{25}	0/83	1/53	2/36	-0/70	تأثیرپذیر
R_{26}	1/46	2/02	3/48	-0/56	تأثیرپذیر
R_{31}	0/62	0/82	1/44	-0/20	تأثیرپذیر
R_{32}	0/80	0/86	1/66	-0/06	تأثیرپذیر
R_{33}	0/69	0/85	1/54	-0/16	تأثیرپذیر
R_{41}	1/18	0/78	1/96	0/40	تأثیرگذار
R_{42}	0/90	0/83	1/73	0/07	تأثیرگذار
R_{43}	1/34	1/91	3/25	-0/57	تأثیرپذیر
R_{51}	1/45	0/29	1/74	1/16	تأثیرگذار
R_{52}	1/54	0/77	2/31	0/77	تأثیرگذار
R_{53}	1/11	0/51	1/62	0/6	تأثیرگذار

بر این اساس، در بین ریسک‌های موردبررسی، کمبود مشاوران باتجربه در ساختمان سبز، عدم وجود تجربه کافی در ساخت‌وساز با فناوری‌های جدید و عملکرد نامطلوب مواد اولیه سبز به ترتیب تأثیرگذارترین ریسک‌ها و عدم تخصیص بودجه کافی از سمت تأمین‌کننده مالی به دلیل عدم جذابیت طرح، تأخیر پروژه و عدم برآورد دقیق از میزان بازده سرمایه‌گذاری ساختمان سبز در بلندمدت به ترتیب تأثیرپذیرترین ریسک‌ها هستند



شکل ۲- نمودار علی معیارهای اصلی.

Figure 2- The casual diagram of the main criteria.

سپس با استفاده از معیارها، ماتریس تأثیر کل نرمال شده، T_D^{nor}، و ماتریس تأثیر نرمال شده، T_C^{nor} ، به دست می‌آید. با استفاده از **روابط (۱۰)** و **(۱۱)**، سوپر ماتریس ناموزون و سوپر ماتریس موزون محاسبه شدند. برای به دست آوردن اهمیت نهایی هر زیرمعیار، سوپر ماتریس موزون حددار نیز محاسبه شد که با $\varphi=4$ به همگرایی رسید. به دلیل محدودیت فضا، این ماتریس‌ها در نوشتار مشخص نشده است. **جدول ۵** نتایج نهایی را نشان می‌دهد. در این جدول وزن هر یک از زیر عوامل و رتبه آن‌ها مشخص‌شده است.

جدول ۵- نتیجه نهایی ارزیابی ریسک.

Table 5- The final result of the risk evaluation.

نماد	شرح ریسک	وزن نهایی	رتبه
R_{11}	قوانین دولتی و مراحل تصویب پیچیده	0/1297	1
R_{12}	عدم وجود بیمه خاص برای مرحله ساخت ساختمان‌های سبز	0/1134	3
R_{21}	قیمت بالای مواد اولیه ساختمان سبز	0/0193	17
R_{22}	افزایش هزینه غیرمنتظره مالک	0/0539	8
R_{23}	افزایش هزینه گواهینامه ساختمان سبز	0/0476	13
R_{24}	عدم توجه به تأثیر تورم در محاسبات اقتصادی	0/0297	15
R_{25}	عدم تخصیص بودجه کافی از سمت تأمین‌کننده مالی به دلیل عدم جذابیت طرح	0/0494	10
R_{26}	عدم برآورد دقیق از میزان بازده سرمایه‌گذاری ساختمان سبز در بلندمدت	0/0667	4
R_{31}	تولید ضایعات	0/0498	9
R_{32}	مصرف انرژی بیش از مقدار پیش‌بینی‌شده	0/0558	5
R_{33}	آلودگی صوتی، آب، خاک و هوا	0/0550	6
R_{41}	نداشتن تجربه کافی در مدیریت ساختمان‌های سبز	0/0492	11
R_{42}	عدم هماهنگی بین اعضای گروه اجرایی پروژه	0/0544	7
R_{43}	تأخیر پروژه	0/1229	2
R_{51}	کمبود مشاوران باتجربه در ساختمان سبز	0/0194	16
R_{52}	عدم وجود تجربه کافی در ساخت‌وساز با فناوری‌های جدید	0/0487	12
R_{53}	عملکرد نامطلوب مواد اولیه سبز	0/0351	14

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، قوانین دولتی و مراحل تصویب پیچیده، تأخیر در پروژه، عدم وجود بیمه خاص برای مرحله ساخت ساختمان سبز و عدم برآورد دقیق از میزان بازده سرمایه‌گذاری ساختمان سبز در بلندمدت از مهم‌ترین عوامل ریسک در عوامل ساختمان‌های سبز هستند. در مورد قوانین دولتی باید توجه داشت که دستگاه‌های اجرایی مختلف نظیر وزارت راه و شهرسازی، وزارت نیرو، سازمان شهرداری و سازمان نظام‌مهندسی ساختمان در تائید و تصویب ساختمان‌های سبز دخیل هستند، بنابراین هر یک از آن‌ها استانداردها و سیاست‌های اجرایی مختلفی را اتخاذ می‌کنند و اختلاف‌نظر بین آن‌ها می‌تواند تصویب و اجرایی کردن مقررات مربوط به ساختمان‌های سبز را دچار چالش کند. از سوی دیگر هر عاملی که موجب تأخیر پروژه ساختمان سبز شود به‌عنوان یک ریسک جدی برای توجیه فنی و اقتصادی پروژه محسوب می‌شود و می‌تواند میزان آلودگی محیط‌زیست در مراحل ساخت، میزان اتلاف منابع و انرژی را افزایش دهد. همچنین با توجه به نوظهور بودن صنعت ساخت‌وساز سبز در ایران، در حال حاضر تجربه کافی در ساخت‌وساز سبز در هر یک از مراحل طراحی، مطالعه و نظارت بر پروژه وجود ندارد، بنابراین امکان برآورد دقیق میزان بازده سرمایه‌گذاری فراهم نیست. اگرچه هزینه ساختمان‌های سبز نسبت به ساختمان‌های معمولی بیشتر است و محدوده فضایی مشخصی از ساختمان نیز باید به فضای سبز تخصیص یابد، اما در زمان بهره‌برداری ساختمان سبز، صرفه‌جویی در انرژی مصرفی ساکنین، هزینه‌های مازاد بابت خرید ساختمان را جبران خواهد نمود. بسیاری از مزایای ساختمان‌های سبز نظیر رفاه، امنیت و آسایش ساکنین ساختمان‌های سبز نیز کیفی است و می‌تواند در توجیه فنی و اقتصادی صنعت ساخت‌وساز سبز تأثیر بسزایی داشته باشد، اما نمی‌توان از آن‌ها به‌صورت کمی در برآورد میزان بازده سرمایه‌گذاری استفاده نمود. با توجه به این‌که تعداد ساختمان‌های سبز در کشور ما اندک است، اگر مکانیزم مشخصی برای برآورد دقیق میزان بازده سرمایه‌گذاری طرح و افزایش آگاهی مردم نسبت به مزایای کیفی ساختمان‌های سبز وجود داشته باشد، جذابیت ساختمان‌های سبز برای سازندگان و خریداران افزایش خواهد یافت.

نتایج حاصل از این پژوهش با پژوهش‌های موجود در پیشینه پژوهش مقایسه و در **جدول ٦** نشان داده‌شده است. اگرچه در پژوهش‌های مختلف ابعاد ریسک‌های شناسایی‌شده متفاوت است، اما این جدول می‌تواند چارچوب و راهنمای مناسبی را در اختیار فعالان صنعت ساخت‌وساز سبز قرار دهد تا بر اساس پژوهش‌های مختلف بحرانی‌ترین و مهم‌ترین عوامل ریسک را شناسایی و سیاست‌های اجرایی مناسبی برای مهار این ریسک‌ها اتخاذ نمایند.

جدول ٦- مقایسه نتایج پژوهش با پژوهش‌های موجود در پیشینه پژوهش.

Table 6- The comparison of research results with existing researches in the literature.

ردیف	پژوهش	مهم‌ترین ریسک بر اساس یافته‌های پژوهش
۱	ژو و کوانی (۲۰۱۲)	عدم‌تعهد به اصول ساختمان سبز در زنجیره تأمین ساخت
۲	یانگ و ژو (۲۰۱۴)	تأثیر عدم دریافت گواهینامه سبز بر شهرت پیمانکار
۳	کین و همکاران (۲۰۱۶)	قوانین دولتی و بوروکراسی
۴	یانگ و همکاران (۲۰۱۶)	مسئولیت‌های اجتماعی
۵	قبادی و همکاران (۲۰۱۹)	کیفیت بد مواد
۶	ژانگ و مهندس (۲۰۲۰)	سقوط از ارتفاع در مرحله ساخت فضای سبز پشت بام
۷	گوان و همکاران (۲۰۲۰)	نیازمندی‌های غیرشفاف اجرای یک پروژه سبز
۸	پژوهش حاضر	قوانین دولتی و مراحل تصویب پیچیده

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود قوانین دولتی در پژوهش حاضر و مقاله کین و همکاران (۲۰۱٦) به‌عنوان مهم‌ترین ریسک شناسایی‌شده است. همان‌طور که قبلاً بیان شد تائید و تصویب پروژه‌های ساختمان سبز باید توسط تعداد زیادی از دستگاه‌های اجرایی صورت گیرد که اختلاف‌نظر بین آن‌ها می‌تواند به‌عنوان مانعی برای رشد و توسعه ساختمان سبز محسوب شود. از سوی دیگر در زنجیره تأمین ساخت‌وساز سبز ذینفعان مختلفی نظیر مهندسین مشاور، طراحان، پیمانکاران، کارفرمایان، مشتریان، سازمان‌های طرفدار محیط‌زیست و غیره با اهداف و جهت‌گیری‌های متفاوتی وجود دارند که برخی از آن‌ها ممکن است دیدگاه سنتی ساخت ساختمان‌ها را به دیدگاه سبز ترجیح دهند؛ بنابراین، عدم‌تعهد ذینفعان به اصول سبز در مقاله ژو و کوانی (۲۰۱۲) به‌عنوان چالشی بزرگ در نظر گرفته‌شده است. همچنین درصورتی‌که پیمانکاران ساختمان نتوانند موفق به دریافت گواهینامه ساختمان سبز شوند می‌تواند بر حسن شهرت آن‌ها تأثیر زیادی داشته باشد. با توجه به این‌که ساکنین ساختمان درصد زیادی از اوقات خود را در ساختمان می‌گذرانند، کیفیت بد مواد می‌تواند بر سلامتی آن‌ها و کیفیت هوای درون ساختمان‌ها تأثیر بسزایی داشته باشد؛ بنابراین لازم است که در ساخت ساختمان‌های سبز از مواد اولیه سبز استفاده شود. همچنین در ساختمان‌های سبز لازم است که نیروی انسانی پروژه زمانی را در پشت‌بام صرف ساخت فضای سبز و نصب پنل‌های خورشیدی نماید، بنابراین در مقاله ژانگ و مهندس (۲۰۲۰) سقوط از پشت بام به‌عنوان مهم‌ترین ریسک ایمنی و سلامتی شغلی در ساختمان‌های سبز شناسایی‌شده است. از سوی دیگر، با توجه به نوظهور بودن ساختمان‌های سبز نیازمندی‌های اجرای پروژه‌ها ازنظر تکنولوژی و فناوری‌های نوین و مواد سبز مورداستفاده هنوز مشخص نیست؛ بنابراین در مقاله گوان و همکاران (۲۰۲۰) نیازمندی‌های غیرشفاف اجرای یک پروژه سبز به‌عنوان مهم‌ترین ریسک شناسایی‌شده است.

۵- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهان، بحران انرژی است که بر اثر افزایش شهرنشینی و استفاده بیش از اندازه از منابع طبیعی به وجود آمده است. نظر به این‌که صنعت ساخت‌وساز از بزرگ‌ترین صنایع مصرف‌کننده انرژی در دنیا محسوب می‌شود، ساختمان‌های سبز به‌عنوان یک راهکار جدید جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی توسعه‌یافته است. با توجه به این‌که ریسک‌های ذاتی ساختمان‌های سبز می‌تواند از توسعه آن‌ها جلوگیری نماید، شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله از روش ترکیبی دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای، *DANP*، برای ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز استفاده شد. کارایی روش پیشنهادی نیز در شهر شیراز موردبررسی قرار گرفت. در ابتدا بر اساس نظرات خبرگان متشکل از مهندسین مشاور، طراحان، مجریان و پیمانکاران ۱۷ عامل به‌عنوان مهم‌ترین عوامل ریسک ساختمان‌های سبز شناسایی و در پنج گروه سیاست‌ها و استانداردها، عوامل اقتصادی، عوامل زیست‌محیطی، عوامل مدیریتی، عوامل فنی و کیفیت طبقه‌بندی شدند. برای بررسی ارتباط بین عوامل ریسک و زیرمعیارها از روش دیمتل استفاده شد. در بین عوامل مختلف ریسک، کمبود مشاوران باتجربه در ساختمان سبز، عدم وجود تجربه کافی در ساخت‌وساز با فناوری‌های جدید و عملکرد نامطلوب مواد اولیه سبز به ترتیب به‌عنوان تأثیرگذارترین ریسک‌ها مشخص شدند. همچنین عدم تخصیص بودجه کافی از سمت تأمین‌کننده مالی به دلیل عدم جذابیت طرح، تأخیر پروژه و عدم برآورد دقیق از میزان بازده سرمایه‌گذاری ساختمان سبز در بلندمدت به ترتیب به‌عنوان تأثیرپذیرترین ریسک‌ها شناسایی شدند. پس از تعیین ارتباط بین معیارها، از روش *ANP*، به دلیل قابلیت مدل‌سازی وابستگی‌های بالقوه زیرمعیارهای ریسک، برای رتبه‌بندی عوامل مؤثر در ریسک استفاده شد. بر اساس یافته‌های پژوهش می‌توان بیان نمود که قوانین دولتی و مراحل تصویب پیچیده، تأخیر در پروژه، عدم وجود بیمه خاص برای مرحله ساخت

ساختمان سبز و عدم برآورد دقیق از میزان بازده سرمایه‌گذاری ساختمان سبز در بلندمدت از مهم‌ترین ریسک‌های ساخت ساختمان سبز هستند. با توجه به نوظهور بودن صنعت ساخت‌وساز سبز در ایران، در حال حاضر تجربه کافی برای توسعه ساختمان‌های سبز وجود ندارد، بنابراین شناسایی عوامل ریسک و تمرکز بر علل ایجاد آن می‌تواند بر موفقیت پروژه‌های ساختمان‌های سبز تأثیر بسزایی داشته باشد. همچنین با توجه به افزایش جمعیت جهان و محدود بودن ذخایر انرژی، در آینده شهرها ناگزیر به توسعه ساختمان‌های سبز خواهند بود و هرگونه دانش و تجربه‌ای در این زمینه می‌تواند بر مدیریت یکپارچه طراحی، نظارت و اجرا توسط طراحان و برنامه‌ریزان شهری تأثیرگذار باشد.

نظر به این‌که ارزیابی ریسک ساختمان‌های سبز در پژوهش‌های داخلی و خارجی کمتر موردتوجه قرارگرفته است، بنابراین برای تحقیقات آتی، روش مورداستفاده در این پژوهش می‌تواند برای ارزیابی ریسک دامنه وسیعی از پروژه‌های عمرانی مبتنی بر اصول زیست‌محیطی نظیر پروژه‌های محوطه‌سازی، راه‌سازی و تونل‌سازی به کار رود.

منابع

Chen, J. X., & Chen, J. (2017). Supply chain carbon footprinting and responsibility allocation under emission regulations. *Journal of environmental management*, *188*, 255-267.

Chiu, W. Y., Tzeng, G. H., & Li, H. L. (2013). A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR to improve e-store business. *Knowledge-based systems*, *37*, 48-61.

Donghwan, G., Yong, K. H., & Hyoungsub, K. (2015). LEED, its efficacy in regional context: Finding finding a relationship between regional measurements and urban temperature. *Energy and buildings*, *86*, 687-691.

Franco, M. A. J. Q., Pawar, P., & Wu, X. (2020). Green building policies in cities: A a comparative assessment and analysis. *Energy and buildings*, *231*. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110561

Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and environment*, *46*(4), 922-937.

Ghobadi, J., Rezaeian, J., & Haji Aghaei Keshteli, M. (2019). Identification and prioritization the risks of green building projects based on the combination of FANP and FDEMATEL: (Case case study: Savadkooh County). *Amirkabir journal of civil engineering*, *51*(3), 599-616. **(In Persian)**. https://ceej.aut.ac.ir/article_2768_en.html

Girma, Y., Terefe, H., Pauleit, S., & Kindu, M. (2019). Urban green infrastructure planning in Ethiopia: tThe case ofemerging towns of Oromia special zone surrounding Finfinne. *Journal of urban management*, *8*(1), 75–88.

Glavinich, T. E. (2008). *Contractor's guide to green building construction: management, project delivery, documentation, and risk reduction*. America: John Wiley & Sons, Inc.

GBCA. (2013). Green Star project directory. Retrieved May 29, 2021, from https://www.gbca.org.au/green-star-project-directory/

Guan, L., Abbasi, A., & Ryan, M. J. (2020). Analyzing green building project risk interdependencies using Interpretive structural modeling. *Journal of cleaner production*, *256*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120372

Hasnain, M., Thaheem, M. J., & Ullah, F. (2018). Best value contractor selection in road construction projects: ANP-based decision support system. *International journal of civil engineering*, *16*, 695-714.

Ignatius, J., Rahman, A., Yazdani, M., Šaparauskas, J., & Haron, S. H. (2016). An integrated fuzzy ANP–QFD approach for green building assessment. *Journal of civil engineering and management*, *22*(4), 551-563.

Khoshnava, S. M., Rostami, R., Valipour, A., Ismail, M., & Rahmat, A. R. (2018). Rank of green building material criteria based on the three pillars of sustainability using the hybrid multi criteria decision making method. *Journal of cleaner production*, *173*, 82-99.

Lu, Y., Cui, Q., & Le, Y. (2013). Turning green to gold in the construction industry: fFable or fact?. *Journal of construction engineering and management*, *139*(8), 1026-1036.

Mahmoudkelaye, S., Taghizade Azari, K., Pourvaziri, M., & Asadian, E. (2018). Sustainable material selection for building enclosure through ANP method. *Case studies in construction materials*, *9*. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00200

Mavi, R. K., & Standing, C. (2018). Critical success factors of sustainable project project management in construction: aA fuzzy DEMATEL-ANP approach. *Journal of cleaner production*, *194*, 751-765.

Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K., & Tiwari, M. K. (2005). A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study. *International Journal journal of production research*, *43*(24), 5199-5216.

Nilashi, M., Zakaria, R., Ibrahim, O., Abd, M. Z., Zin, R. M., & Farahmand, M. (2015). MCPCM: A a DEMATEL-ANP-based multi-criteria decision-making approach to evaluate the critical success factors in construction projects. *Arabian journal for science and engineering*, *40*, 343-361.

Poveda, C. A., & Young, R. (2015). Potential benefits of developing and implementing environmental and sustainability rating systems: Making making the case for the need of diversification. *International journal of sustainable built environment*, *4*(1), 1-11.

PMBOK. (2000). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide)* (Vol. 2). Retrieved from https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok

Qin, X., Mo, Y., & Jing, L. (2016). Risk perceptions of the life-cycle of green buildings in China. *Journal of cleaner production*, *126*, 148-158.

Robichaud, L. B., & Anantatmula, V. S. (2011). Greening project management practices for sustainable construction. *Journal of management in engineering*, *27*(1), 48–57.

Santibanez-Gonzalez, E. D. (2017). A modelling approach that combines pricing policies with a carbon capture and storage supply chain network. *Journal of cleaner production*, *167*, 1354-1369.

Song, Y., Li, C., Zhou, L., Huang, X., Chen, Y., & Zhang, H. (2021). Factors affecting green building development at the municipal level: a crosssectional study in China. *Energy and buildings*, *231*. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110560

Talebi, A., Zahedi, E., Hassan, M. A., & Lesani, M. T. (2019). Locating suitable sites for the construction of underground dams using the subsurface flow simulation (SWAT model) and analytical network process (ANP) (case study: Daroongar watershed, Iran). *Sustainable water resources management*, *5*, 1369-1378.

Tulacz, G. J. (2008). *Insurers worry about green-building risks*. Engineering News Record.

USGBC. (2014). *LEED V4 for building design and construction*. Retrieved May 29, 2021, from https://www.usgbc.org/guide/bdc

USGBC. (2015). *About LEED*. Retrieved May 29, 2021, from http://www.usgbc.org/articles/about-leed

Xu, P., Chan, E. H. W., Visscher, H. J., Zhang, X., & Wu, Z. (2015). Sustainable building energy efficiency retrofit for hotel buildings using EPC mechanism in China: analytic network process (ANP) approachapproach. *Journal of cleaner production*, *107*, 378-388.

Yadegaridehkordi, E., Hourmand, M., Nilashi, M., Alsolami, E., Samad, S., Mahmoud, M., Alarood, A. A., Zainol, A., Majeed, H. D., & Shuib, L. (2020). Assessment of sustainability indicators for green building manufacturing using fuzzy multi-criteria decision makingcriteria decision-making approachapproach. *Journal of cleaner production*, *277*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122905

Yang, R. J., & Zou, P. X. (2014). Stakeholder-associated risks and their interactions in complex green building projects: A social network model. *Building and environment*, *73*, 208-222.

Yang, R. J., Zou, P. X. W., & Wang, J. (2016). Modelling stakeholder-associated risk networks in green building projects. *International journal of project management*, *34*(1), 66-81.

Zhang, X., & Mohandes, S. R. (2020). Occupational health and safety in green building construction projects: A a holistic Znumbers-based risk management framework. *Journal of cleaner production*, *275*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122788

Zou, P. X. W., Rischmillier, S., & Xu, A. Y. X. (2010, December). Risk identification and assessment in green retail building development. *First international conference on sustainable urbanization (ICSU)* (pp. 15-17). Hong Kong, China. https://www.polyu.edu.hk/fclu/ICSU2010/

Zou, P. X., & Couani, P. (2012). Managing risks in green building supply chain. *Architectural engineering and design management*, *8*(2), 143-158.

Licensee Decisions & Operations Research. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).