Environmental Education and Sustainable Development *Open Access*

2025, 13(2): 117-133
DOI: 10.30473/EE.2024.67028.2610

ORIGINAL ARTICLE

The Impact of Green Research and Development Components on the Prediction of Environmental Pollution

Arezoo Zamany[1], Abbas Khamseh[2], Ali Khamseh[3]

1. Ph.D. Student, Department of Technology Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Industrial Management, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3. B.Sc. Department of Industrial Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Correspondence:
Abbas Khamseh
Email: abbas.khamseh@kiau.ac.ir

Received: 1/Nov/2023
Accepted: 15/Apr/2024

How to cite:
Zamany, A., Khamseh, A., & Khamseh, A. (2024). The Impact of Green Research and Development Components on the Prediction of Environmental Pollution. Journal of Environmental Education and Sustainable Development, 13(2), 117-133.
(DOI: 10.30473/EE.2024.67028.2610)

ABSTRACT

In recent decades, sustainable development has emerged as a critical goal for most economies. To achieve this goal, providing solutions to reduce environmental pollution, as one of the main pillars of sustainable development, is essential. The role of research and development (R&D) in reducing environmental pollution is an important topic that has received limited attention in previous research within the field of sustainable development. Given the significance of this issue and the existing research gap, the present study aims to investigate the impact of green R&D components on reducing environmental pollution. This research is applied in terms of purpose and descriptive-survey in terms of methodology. First, based on a literature review, the components of green R&D and various aspects of environmental pollution were identified and extracted, leading to the development of a research model. Then, structural equation modeling (SEM) was conducted using Amos 24 software to validate the model and analyze the data. The research data were collected from 269 individuals active in the field of green R&D using a researcher-developed questionnaire. A review of previous studies identified five key components of green R&D: intellectual capital, green ideas, green design, green investment, and laws and standards. The results indicate that green R&D positively contributes to reducing environmental pollution. This finding suggests that investment in R&D can be proposed not only as an engine of economic growth but also as a driver of sustainable development, where economic expansion can occur alongside reduced environmental pollution emissions.

KEYWORDS

Environmental Pollution, Green Ideas, Green Investment, Green Intellectual Capital, Green Research and Development (Green R&D)

Copyright © 2025 The Authors. Published by Payame Noor University
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

آموزش محیط‌زیست و توسعه پایدار

سال سیزدهم، شماره دوم، ۱۴۰۳ (۱۱۷-۱۳۳)

DOI: 10.30473/EE.2024.67028.2610

«مقاله پژوهشی»

تأثیر مؤلفه‌های تحقیق و توسعه سبز بر پیش‌بینی آلودگی‌های محیط‌زیستی

آرزو زمانی[۱]، عباس خمسه[۲]، علی خمسه[۳]

۱. دانش‌آموخته دکتری، گروه مدیریت فناوری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۳. دانشجوی گروه مهندسی صنایع، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

نویسنده مسئول:
عباس خمسه
رایانامه: abbas.khamseh@kiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷

استناد به این مقاله:
زمانی، آرزو. انوشه، خمسه. عباس، و خمسه، علی. (۱۴۰۳). تأثیر مؤلفه‌های تحقیق و توسعه سبز بر پیش‌بینی آلودگی‌های محیط‌زیستی، فصلنامه علمی آموزش محیط زیست و توسعه پایدار، ۱۳(۲)، ۱۱۷-۱۳۳.
(DOI: 10.30473/EE.2024.69077.2672)

چکیده

در دهه‌های اخیر، توسعه پایدار به‌عنوان یک هدف حیاتی برای اکثر اقتصادها مطرح شده است. برای دستیابی به این هدف، ارائه راهکارهایی برای کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی به‌عنوان یکی از محورهای مهم توسعه پایدار، امری ضروری است. مسئله تحقیق و توسعه و نقش آن در کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی از مباحث مهمی است که در پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه توسعه پایدار، کمتر بدان پرداخته شده است. با توجه به اهمیت موضوع و خلأ تحقیقاتی در این زمینه، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مؤلفه‌های تحقیق و توسعه سبز بر کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی صورت گرفته است. این پژوهش ازنظر هدف، کاربردی و به لحاظ روش، توصیفی-پیمایشی است. در این پژوهش، ابتدا با بهره‌گیری از ادبیات، به شناسایی و استخراج مؤلفه‌های تحقیق و توسعه سبز و همچنین جنبه‌های مختلف آلودگی‌های محیط‌زیستی پرداخته‌شده و مدل پژوهش استخراج گردیده است. سپس به‌منظور اعتبارسنجی مدل حاصل و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار Amos 24 استفاده شده است. داده‌های پژوهش با استفاده از پرسشنامه محقق‌ساخته از ۲۶۹ نفر از افراد فعال در حوزه تحقیق و توسعه سبز، گردآوری شده است. با بررسی متون و ادبیات گذشته، پنج مؤلفه تحقیق و توسعه سبز شامل؛ سرمایه فکری سبز، ایده‌های سبز، طراحی سبز، سرمایه‌گذاری سبز و قوانین و استانداردها شناسایی‌شده و نتایج نشان می‌دهد تحقیق و توسعه سبز به‌طور مثبت به کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی کمک می‌کند. این نتیجه بیانگر این است که سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه را می‌توان نه‌تنها به‌عنوان موتور رشد اقتصادی، بلکه به‌عنوان محرک توسعه پایدار که در آن رشد می‌تواند همراه با انتشار کمتر آلودگی‌های محیط‌زیستی باشد، پیشنهاد کرد.

واژه‌های کلیدی

ایده سبز، تحقیق و توسعه سبز، سرمایه فکری سبز، سرمایه‌گذاری سبز، آلودگی محیط‌زیستی.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۳ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

طی دهه‌های اخیر، رشد اقتصادی پایدار به یک هدف حیاتی برای اکثر اقتصادها تبدیل شده است. دستیابی به این هدف، بدون شک مستلزم تثبیت یا کاهش آلودگی‌های محیطزیستی است. رشد سریع جمعیت و استفاده زیاد و بی‌رویه از منابع و محیطزیست، موجب افزایش فشار بر اکوسیستم شده و نگرانی‌ها را نسبت به آن چندین برابر کرده است (Zarei et al., 2024). محیطزیست یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار محسوب می‌شود و در این راستا، لازم است ارتباطات متقابل و انطباق میان الگوی توسعه پایدار، به نحوی باشد که نظام طبیعت، پویایی تعادلی خود را از دست ندهد. این امر، مستلزم گذار از فعالیت‌های اقتصادی مبتنی بر منابع آلاینده محیطزیست، به فعالیت‌های اقتصادی پایدار مبتنی بر فناوری‌ها، با تأثیر تخریبی کمتر بر محیطزیست است. یک تغییر فناورانه که پاسخی جامع برای رشد اقتصادی همراه با کاهش آلودگی‌های محیطزیستی را ممکن سازد، ضروری است. یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های دستیابی به این تغییر ساختار، نوآوری است. نوآوری و توسعه فناوری، به‌عنوان عامل تعیین‌کننده رشد اقتصادی، نقش فزاینده‌ای در ادبیات اقتصادی ایفا نمود (Fernández et al., 2018). بر اساس مدل رشد اقتصادی درون‌زا، بخش تحقیق و توسعه با استفاده از سرمایه انسانی و ذخایر دانش موجود، نوآوری فناورانه ایجاد می‌کند (Sheikhi et al., 2021). درواقع تئوری اقتصادی، انباشت تحقیق و توسعه را برای رشد اقتصادی ضروری می‌داند؛ اما از منظر محیطزیستی، رشد اقتصادی مبتنی بر مصرف منابع طبیعی نظیر سوخت‌های فسیلی، ارتباط تنگاتنگی با تخریب و آلودگی محیطزیست دارد.

در پایان قرن بیستم بر اثر فعالیت‌های اقتصادی–صنعتی و ایجاد تغییرات شگرف در محیطزیست، اهداف تحقیق و توسعه دگرگون‌شده و توجه به جنبه‌های محیطزیستی، شدت زیادی گرفته است. بر این اساس، تقویت و حمایت از تحقیق و توسعه سبز از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار شده است. سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه سبز که شامل مجموعه‌ای از نوآوری‌ها در زمینه تولید محصولات سبز سازگار با محیطزیست یا نوآوری‌های فنی حافظ محیطزیست است (Nokani & Azami, 2018)، می‌تواند سبب بهبود، حفظ و ترویج فعالیت‌های پایدار محیطزیستی گردد. آمارهای تخریب محیطزیست حاکی از آن است که عدم سرمایه‌گذاری بر تحقیق و توسعه سبز و نادیده گرفتن فناوری‌های سبز، منجر به چرخه باطلی از آلودگی محیطزیستی و هزینه‌های جانبی می‌شود و در مقابل، رشد و پیشرفت فناوری‌های دوستدار محیطزیست، موجب کاهش آلودگی خواهد شد (Kabiri, 2022).

اثرات پیشرفت فناوری بر تکامل رابطه بین رشد اقتصادی و محیطزیست، با تئوری رشد درون‌زا تبیین شده است که معتقد است فرآیندهای تولید، با جایگزینی منابع سازگار با محیطزیست به‌جای منابع آلاینده، بهبود می‌یابد. نوآوری‌های محیطزیستی مرز فناورانه است که در انجام آن، شرکت‌ها هنوز بی‌تجربه هستند. عدم قطعیت و پیچیدگی فناورانه زیادی در این مسیر وجود دارد، زیرا قوانین عمومی و پذیرفته‌شده‌ای در راه‌حل‌های فناورانه و در مورد اقدامات ارزیابی عملکرد محیطزیستی محصولات و فرآیندها وجود ندارد. در دهه‌های اخیر ارتباط میان سطح توسعه‌یافتگی جوامع و میزان دستیابی به استانداردهای محیطزیستی و به تعبیری رعایت ملاحظات محیطزیستی، در کانون توجه پژوهشگران قرارگرفته است (Noemani Seighalan et al., 2021) و با وجود تفاوت‌های اساسی در ماهیت مشکلات حوزه محیطزیست در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه، کلیت این موضوع در تمامی کشورها قابل‌مشاهده است. مطالعات زیادی در زمینه انرژی، هم در سطح بخشی و هم در سطح ملی انجام‌شده است. تقریباً تمامی این مطالعات، بر تجزیه‌وتحلیل تأثیر هزینه‌های تحقیق و توسعه در بخش انرژی بر اصلاح محیطزیست متمرکزشده‌اند، اما توجه کمی به تأثیر تحقیق و توسعه سبز و مؤلفه‌های آن، بر کاهش آلودگی‌های محیطزیستی داشته‌اند. هدف پژوهش حاضر، پر کردن این شکاف در ادبیات، با بررسی تأثیری است که تحقیق و توسعه سبز می‌تواند در کاهش سطح آلودگی‌های محیطزیستی و بنابراین در دستیابی به رشد پایدار داشته باشد. بر این اساس، سؤال اصلی پژوهش این است که تأثیر تحقیق و توسعه سبز در کاهش آلودگی‌های محیطزیستی چگونه است؟

فرایند تحقیق و توسعه در راستای توجه به جنبه محیطزیستی، تحت عنوان تحقیق و توسعه سبز مطرح شده است. تحقیق و توسعه سبز، به مجموعه‌ای از سرمایه‌گذاری‌ها، ایده‌ها، دانش‌ها و نوآوری‌های مرتبط با تولید محصولات سبز گفته می‌شود که حافظ محیطزیست است (Khamseh & Marei, 2020). نوآوری سبز نیز محصول تحقیق و توسعه سبز است که می‌تواند برای شرکت مزیت رقابتی ایجاد کند.

نوآوری سبز، نقش بسیار مهمی در انتخاب ایده‌های محیط‌زیستی و فعالیت‌های تحقیق و توسعه سبز دارد. ازآنجایی‌که امروزه بخش زیادی از عملکرد محیط‌زیستی سازمان‌ها برگرفته از ایده‌های سبز آن‌ها است، لذا ایده‌های سبز به‌عنوان یکی از ابعاد تأثیرگذار بر تحقیق و توسعه معرفی شده است (Chen et al., 2017). تعدادی از مطالعات، سرمایه‌گذاری بهینه را نیز از ابعاد مهم تحقیق و توسعه سبز معرفی کرده‌اند؛ زیرا سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه سبز، سبب افزایش سهام دانشی سازمان در رابطه با محیط‌زیست می‌گردد که این دانش، نه‌تنها به اختراع منجر می‌شود، بلکه مراحل نوآوری و انتشار را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (Ghisetti & Pontoni, 2015). یکی دیگر از متغیرهایی که می‌تواند بر تحقیق و توسعه سبز تأثیرگذار باشد، سرمایه فکری سبز است. سرمایه فکری سبز در شرکت‌هایی که بر ثبات و پایداری خود از طریق انتقال دانش، توجه به مقررات محیطی، به‌کارگیری فناوری‌های نوین، انجام بهترین عملیات و اعمال ابتکارات به‌منظور دستیابی به اهداف شرکت تمرکز کرده‌اند، نقش حیاتی ایفا می‌کند و شرکت‌ها را قادر می‌سازد که مقررات محیط‌زیستی بین‌المللی را رعایت کرده و رضایت‌مندی مصرف‌کنندگان حساس به محیط‌زیست را فراهم آورند. تحقیقات نشان می‌دهد طراحی سبز، یعنی توسعه محصولات و روش‌هایی که از دیدگاه محیط‌زیست بی‌خطر باشند، نیز در عملکرد سازمان تأثیر مثبت دارد (Casamayor & Daizhong, 2021). طی دهه‌های اخیر برخی از طرفداران محیط‌زیست از دیدگاه شکست بازار، با تجارت آزاد و رشد اقتصادی مخالفت کرده و دخالت دولت را ضروری دانسته‌اند. از سوی دیگر، عده‌ای معتقدند برای دستیابی به محیط‌زیست سالم‌تر، رشد اقتصادی لازم است. لذا رفته‌رفته، تعارض میان رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست، به یکی از موضوعات چالش‌برانگیز تبدیل شده است. در این راستا، برخی دولت‌ها به وضع قوانین در سطح ملی و یا تنظیم توافق‌نامه‌های بین‌المللی پرداخته‌اند (Patil & Biswas, 2014). در جدول ۱، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تحقیق و توسعه سبز بر اساس مطالعات پیشین ارائه شده است.

آلودگی‌های محیط‌زیستی به مجموعه‌ای از آلودگی‌های انسان‌ساخت گفته می‌شود که موجب تخریب یا از بین رفتن انواع گویه‌های گیاهی یا جانوری می‌شود. امروزه یکی از چالش‌های اصلی در بُعد جهانی برای توسعه پایدار، آلودگی هوا و تغییر آب‌وهوا است که در اثر انتشار و نشت گازهای آلاینده ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، به‌منظور استفاده در تولید کالاها و خدمات مختلف، تولید می‌شود. زیان آلاینده‌های جهانی، شامل تجمع و انباشت آلوده‌کننده‌ها در سطوح فوقانی جو می‌شود. به‌طور مثال، می‌توان از دی‌اکسید کربن و کلروفلوروکربن در تأثیر خود به نام اثر گلخانه‌ای و انتشار CFC در تخریب لایه اوزون در سطوح فوقانی جو، نام برد. زیان آلاینده‌های منطقه‌ای، در نزدیکی منبع انتشار آلاینده و در ابعاد جغرافیایی وسیع‌تری مشاهده می‌شود. به‌طور مثال، اکسیدهای سولفور و نیتروژن، سبب زیان‌های منطقه‌ای می‌شوند. زیان آلاینده‌های محلی، فقط در نزدیکی منبع آلاینده مشاهده می‌شود. این نوع آلاینده‌ها، شامل جریان‌های صوتی، نوری و بصری هستند. درنهایت، می‌توان گفت هرچند آلودگی‌ها، لزوماً در تمام نقاط یکسان نیستند، اما خسارات جهانی آلودگی در بلندمدت، در اقتصاد سراسر جهان تأثیر می‌گذارد (Khoshnevis & Pajooyan, 2012). به‌طورکلی، آلوده‌کننده‌ها را به روش‌های مختلفی می‌توان طبقه‌بندی کرد. در این پژوهش، انواع آلودگی‌های محیط‌زیستی در چهار گروه، شامل آلودگی خاک، آلودگی آب، آلودگی هوا و آلودگی صوتی، موردبررسی قرارگرفته است.

جدول ۲. مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تحقیق و توسعه سبز

Table 1. Factors Affecting Green R&D

عوامل Factors	تعریف Definition	منبع Ref.
ایده‌های سبز Green Ideas	مجموعه‌ای از ایده‌های خلاق و نو که در راستای توسعه یا طراحی محصول یا نوآوری با هدف کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی پردازش و عملیاتی می‌شود. A set of new, creative ideas to develop or design products or innovations to reduce the environmental pollution of processes and operations	(Chen et al., 2017, 3)
سرمایه‌گذاری سبز Green Investment	مجموعه‌ای از سرمایه‌گذاری‌های مادی و غیرمادی، نظیر استخدام افراد باتجربه و دارای ایده در زمینه فناوری‌های سبز که می‌تواند تولیدکننده محصولات سبز باشد. A set of tangible and intangible investments, such as hiring experienced individuals with expertise in green technologies, which can lead to the production of green products.	(Ghisetti & Pontoni, 2015, 59)

عوامل Factors	تعریف Definition	منبع Ref.
طراحی سبز Green Design	توسعه محصولات و روش‌هایی که از دیدگاه محیط‌زیست بی‌خطر باشند. Development of products and processes that are environmentally safe.	(Casamayor & Daizhong, 2021, 4512)
سرمایه فکری سبز Green Intellectual Capital	به‌تمامی دارایی‌های نامشهود، دانش، توانایی‌ها و روابط، در خصوص حفاظت از محیط یا نوآوری سبز، در سطح فردی یا سازمانی یک شرکت اطلاق می‌شود. It refers to intangible assets, knowledge, capabilities, and relationships related to environmental protection or green innovation at both individual and organizational levels within a company.	(Chen, 2008, 274)
قوانین و استانداردهای سبز Green Rules and Standards	قوانین و لوایح دولتی، سازمان‌های مسئول حفظ محیط‌زیست و استانداردهای محیط‌زیستی مانند ایزو ۱۴۰۰۰ که در سال ۱۹۹۶ به‌وسیله موسسه بین‌المللی استاندارد تدوین شده است. The rules and regulations of governments, environmental organizations, and environmental standards (e.g., ISO 14000, which was developed by the International Organization for Standardization in 1996)	(Patil, & Biswas, 2014, 2325)

تحقیق و توسعه سبز یکی از مؤلفه‌های اصلی فعالیت‌های سازمان در راستای توسعه پایدار است. سازگار بودن هرگونه ایده نوآورانه با ملاحظات محیط‌زیستی حائز اهمیت زیادی است؛ چراکه، مفهوم ایده‌های نوآوری سبز از طریق ارتقای کارایی محیط‌زیستی، برای سازمان در بازارهای داخلی و جهانی ایجاد مزیت رقابتی می‌کند (Chen et al., 2017). نکته حائز اهمیت آن است که هرگونه سرمایه‌گذاری بر روی تحقیقاتی که منجر به تولید نوآوری یا توسعه محصولات سبز یا فرایندهای سبز می‌شود، می‌تواند در کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی تأثیرگذار باشد. طرح‌های تحقیق و توسعه سبز نقشی حیاتی در توسعه راه‌حل‌ها، فناوری‌ها و شیوه‌های نوآورانه ایفا می‌کنند که می‌توانند آلودگی‌های محیط‌زیستی را به حداقل برسانند یا از بین ببرند. با ادغام ملاحظات محیط‌زیستی در فرآیند تحقیق و توسعه، تحقیق و توسعه سبز، اتخاذ روش‌های تولید پاک‌تر، توسعه محصولات سازگار با محیط‌زیست و اجرای شیوه‌های پایدار در صنایع را ترویج می‌کند. تأکید بر بهره‌وری منابع، کاهش ضایعات و حفظ محیط‌زیست در تحقیق و توسعه سبز به کاهش سطوح آلودگی و ترویج رویکردی پایدارتر و آگاهانه از محیط‌زیست به فعالیت‌های اقتصادی کمک می‌کند (Li & Wu, 2017).

طبق مطالعات، تحقیق و توسعه سبز در افزایش درآمد از مصرف‌کنندگانی که خواهان محصولات سبز هستند، تأثیرگذار است. به‌عنوان‌مثال، شرکت جنرال الکتریک از سال ۲۰۰۵ سالانه مبلغی به میزان یک میلیارد دلار برای طراحی سبز سرمایه‌گذاری کرده و تا سال ۲۰۱۰ به درآمدی بالغ بر ۱۸ میلیارد دلار از طریق محصولاتی که با طراحی سبز تولید کرده، دست‌یافته است (Casamayor & Daizhong, 2021). غلامپور ارباستان و همکاران (۲۰۲۳) با سنجش آگاهی و ترجیحات عمومی در زمینه مدیریت پسماندهای خطرناک خانگی، بیان می‌دارند که ۶۷/۸ درصد از شهروندان حاضر به پرداخت اضافه بها به‌منظور مدیریت بهینه بخش خطرناک خانگی بوده و ۹۲/۹ درصد از آن‌ها خواستار وضع جریمه برای متخلفین مدیریت اصولی این دسته از پسماندها هستند (Gholampour Arbastan et al., 2023). قادری و همکاران (۲۰۲۴) نشان داده‌اند بین عملکرد محیط‌زیستی با ابعاد مدیریت منابع انسانی سبز و رفتار شهروند سازمانی حامی محیط‌زیست رابطه وجود دارد. ایجاد شایستگی، افزایش انگیزه کارکنان سبز و افزایش مشارکت کارکنان بر عملکرد زیست-محیطی اثر مستقیم دارد (Ghaderi et al., 2024).

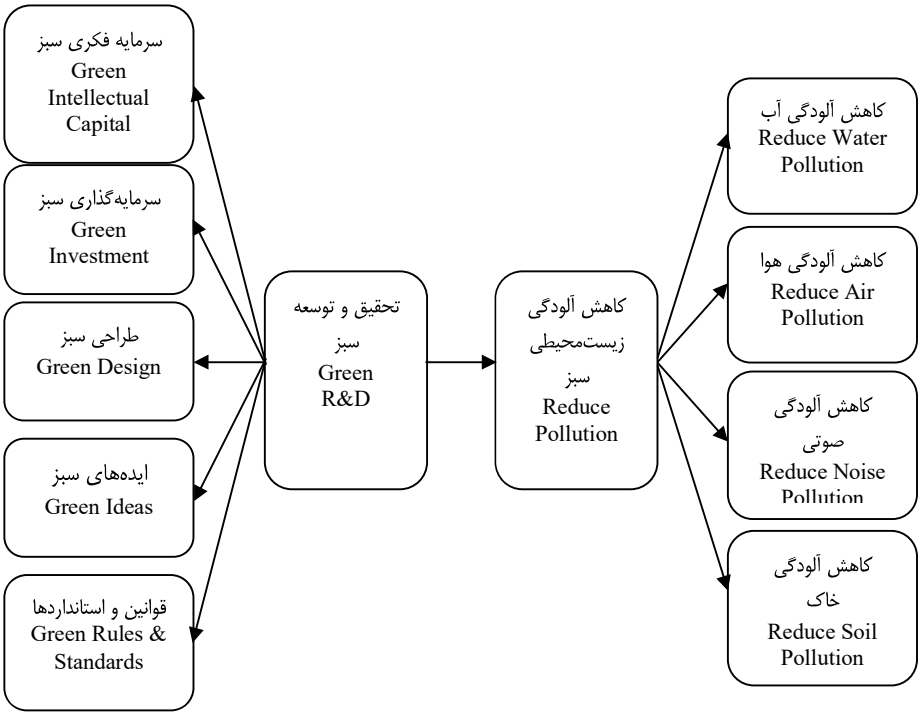
مطالعه‌ای که تأثیر فناوری‌های پاک را در شرکت‌های فعال در کشور سوئد بررسی کرده است، نشان می‌دهد که با تصویب طرح سرمایه‌گذاری حفاظت از محیط‌زیست، می‌توان از تحقیق و توسعه سبز حمایت کرد (Ghisetti & Pontoni, 2015). بالسالوبر و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر رشد اقتصادی، سیاست‌های نوآوری انرژی و ارتقای منابع تجدیدپذیر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای را در ۲۴ کشور سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[1] نشان می‌دهند که تلاش دولت‌ها در نوآوری و جایگزینی انرژی با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه بوده است (Balsalobre et al., 2016). کبیری (۲۰۲۲) بیان می‌دارد فرهنگ محیط‌زیستی با افزایش آگاهی محیط‌زیستی می‌تواند مسائل و مشکلات محیط‌زیستی را کاهش داده و منجر به رفتارهای مسئولانه در برابر محیط‌زیست و حفاظت از منابع آبی گردد (Kabiri, 2022). چن و همکاران[2] (۲۰۲۱)

1. OECD
2. Chen et al.

نشان می‌دهند فعالیت‌های تحقیق و توسعه بیشترین تأثیر را بر کاهش انتشار SO2 (گوگرد دی‌اکسید) داشته است. همچنین، تأثیر فعالیت‌های تحقیق و توسعه سبز بر انتشار SO2، به توانایی جذب فناوری نیز بستگی دارد (Chen et al., 2021). مطالعه فرناندز و همکاران (۲۰۱۸) نیز از این فرضیه حمایت می‌کند که سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، به کاهش انتشار CO2 در کشورهای توسعه‌یافته کمک کرده است (Fernández et al., 2018). آلام و همکاران[1] (۲۰۱۹) بیان می‌کنند سرمایه‌گذاری سبز در تحقیق و توسعه بر عملکرد محیط‌زیستی تأثیر دارد و باعث بهبود عملکرد مالی نیز می‌شود (Alam et al., 2019). به گفته مودولی و همکاران[2] (۲۰۱۳) تحقیق و توسعه سبز نوعی پایداری برای شرکت به ارمغان می‌آورد که در آن، مجموعه‌ای از محصولات، ایده‌ها و فرایندهایی که می‌تواند منجر به خلق یا توسعه محصولات یا نوآوری‌هایی شود، سبب حفظ محیط‌زیست می‌شوند (Muduli et al., 2013). مطالعات قبلی همبستگی مثبتی را بین سرمایه‌گذاری‌های تحقیق و توسعه سبز و کاهش آلودگی محیط‌زیستی نشان داده‌اند که پتانسیل تحقیق و توسعه سبز را برای پیشبرد توسعه پایدار و پرورش آینده‌ای پاک‌تر و سبزتر نشان می‌دهد. با توجه به موارد مطروحه، مدل پژوهش مطابق با شکل ۱ تدوین شده است. بر این اساس، فرضیه اصلی را می‌توان به‌صورت زیر مطرح کرد:

- تحقیق و توسعه سبز تأثیر معناداری بر کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی دارد.

1. Alam et al.
2. Muduli et al.



شکل ۱. مدل پژوهش
Figure 1. Conceptual Model

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از حیث هدف، کاربردی و ازلحاظ ماهیت و روش، توصیفی-پیمایشی است. در این پژوهش، با مطالعه ادبیات موضوع و جمع‌بندی پژوهش‌های انجام‌شده و نیز نظرات خبرگان، تعداد پنج مؤلفه به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر تحقیق و توسعه سبز مطابق با جدول ۲ شناسایی گردیده و پرسشنامه پژوهش مطابق با جدول ۴ طراحی شده است. سؤالات پرسشنامه به‌صورت ساختارمند و با طیف هفت گزینه‌ای لیکرت (از کاملاً موافقم تا کاملاً مخالفم) تنظیم شده است. جهت بررسی پایایی پرسشنامه، از روش آلفای کرونباخ، بر اساس یک نمونه مقدماتی با حجم ۲۰ نفر استفاده‌شده که در کلیه موارد،

ضریب آلفا بالاتر از ۰/۷ حاصل شده است که حاکی از پایایی مناسب و همبستگی درونی بین سؤالات و درنتیجه، وجود پرسش‌های همگن است. روایی پرسشنامه نیز با قضاوت خبرگان مورد تأیید قرارگرفته است. جامعه آماری پژوهش را متخصصان شاغل در صنایع شیمیایی، مخابرات، نیروگاه، پتروشیمی و خودروسازی ایران، به‌ویژه در بخش‌های تحقیق و توسعه تشکیل می‌دهند. برای انتخاب عناصر نمونه از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شده است. نمونه‌گیری هدفمند، امکان ورود مدیران و کارشناسانی را که دارای تجربه، دانش و آشنایی گسترده با موضوع تحقیق بوده‌اند، فراهم کرده است. علاوه بر این، میزان دسترسی و امکان پاسخ‌گویی نیز در طول فرآیند انتخاب در نظر گرفته‌شده است. درمجموع ۲۶۹ مدیر و متخصص بر اساس صلاحیت و ارتباط آن‌ها با مطالعه به‌عنوان پاسخ‌دهندگان انتخاب‌شده‌اند. این حجم نمونه برای به دست آوردن طیف متنوعی از دیدگاه‌ها و به دست آوردن بینش‌های ارزشمند در مورد اهداف پژوهش کافی تعیین شده است. چگونگی توزیع جامعه آماری با در نظر گرفتن میزان تحصیلات و سابقه کار، در جدول ۳ ارائه شده است. جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون چولگی و کشیدگی استفاده‌شده که با توجه به این‌که ضریب چولگی و کشیدگی تمامی متغیرها در بازه (۲+ و ۲-) قرار داشته، لذا توزیع داده‌ها به‌صورت نرمال بوده است (Hair et al., 2010). روایی سازه‌های پرسشنامه با استفاده از تکنیک تحلیل عاملی تأییدی، ارزیابی شده است. جهت تأیید کفایت حجم نمونه به‌منظور انجام تحلیل عاملی تأییدی، از شاخص کفایت نمونه (KMO) و آزمون بارتلت استفاده‌شده و ازآنجایی‌که مقدار شاخص KMO بیش از ۰/۷ حاصل شده است، تعداد نمونه برای تحلیل عاملی و تحلیل مسیر با مدل معادلات ساختاری مناسب است. همچنین سطح معناداری آزمون بارتلت، کوچک‌تر از ۰/۰۵ حاصل‌شده که نشان می‌دهد فرض شناخته‌شده بودن ماتریس هم‌بستگی رد شده و تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مدل عاملی مناسب است. درنهایت، برای تحلیل عاملی تأییدی عوامل و شاخص‌ها در راستای ارزیابی محتوای آزمون از منظر روایی سازه‌ای و نیز برازش مدل پژوهش، از مدل معادلات ساختاری و نرم‌افزار Amos 24 استفاده‌شده و با توجه به ضرایب استاندارد و سطوح معناداری در خروجی نرم‌افزار، نسبت به تأیید یا رد فرضیه‌های مطرح‌شده و روابط رگرسیونی بین متغیرهای مستقل و وابسته، اقدام شده است.

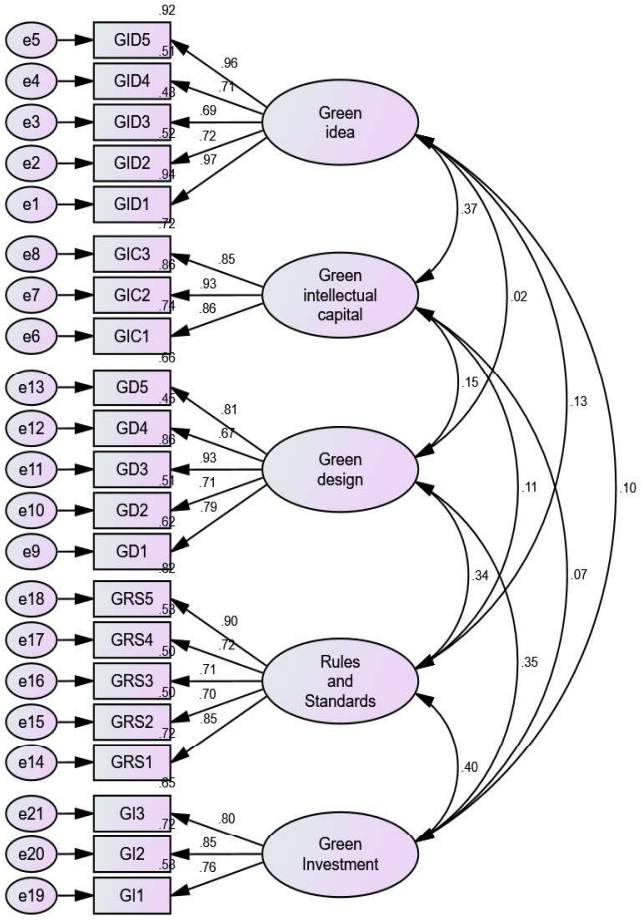
جدول ۳. اطلاعات جمعیت شناختی پاسخ‌دهندگان

Table 2. Demographic Characteristics of the Respondents

متغیر Variable	طبقات Class	فراوانی Frequency	٪ فراوانی Frequency%
میزان تحصیلات Level of Education	کارشناسی Bachelor	99	37
	کارشناسی ارشد Master	132	49
	دکتری Ph.D	38	14
سابقه کار Work Experience	کمتر از ۵ سال Less than 5	51	19
	بین ۵ تا ۱۰ سال Between 5 to 10	116	43
	بیشتر از ۱۰ سال More than 10	102	38
نوع صنعت Type of Industry	مخابرات Telecommunication	57	21
	نیروگاه Power	86	32
	پتروشیمی Petrochemical	48	18
	خودروسازی Automotive	59	22
	شیمیایی Chemical	19	7

یافته‌های پژوهش

به‌منظور آزمون روایی سازه، پایایی ترکیبی و برازش مدل، مدل اندازه‌گیری پژوهش از طریق اجرای تحلیل عاملی تأییدی برآورد شده است که شکل ۲ مدل تحقیق و توسعه سبز و شکل ۳ مدل کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی را در حالت تخمین ضرایب استاندارد نشان می‌دهند.

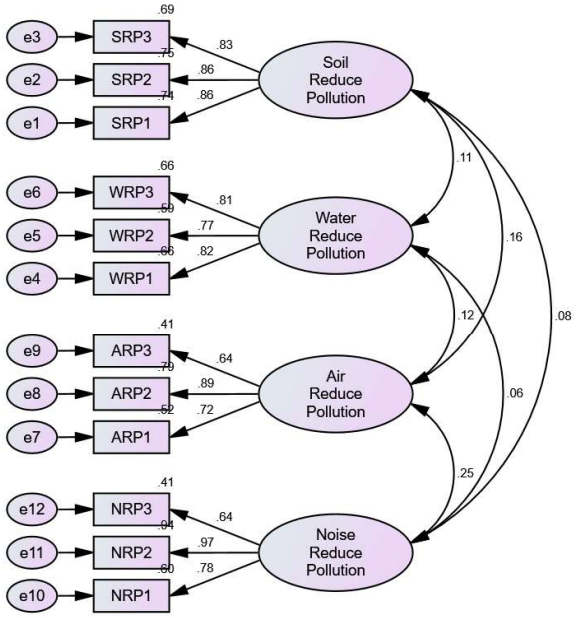


Green idea	ایده سبز	Rules and Standards	قوانین و استانداردها
Green intellectual capital	سرمایه فکری سبز	Green Investment	سرمایه‌گذاری سبز
Green Design	طراحی سبز		

شکل ۲. مدل اندازه‌گیری پژوهش در حالت تخمین ضرایب استاندارد برای متغیر تحقیق و توسعه سبز

Figure 2. Standard Coefficient Estimates of the Green R&D Model

برای ماندن هر سؤال در مدل، باید دو شرط وجود داشته باشد. اول این‌که بار عاملی سؤال، بیشتر از ۰/۵ باشد و دوم معنادار باشد، یعنی مقدار t-value بزرگ‌تر از قدرمطلق ۱/۹۶ باشد (Hair et al., 2010). بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار Amos 24، برای همه سؤالات مقدار بار عاملی بزرگ‌تر از ۰/۵ و مقدار t-value بیش‌تر از ۱/۹۶ بود که در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر میانگین واریانس استخراج‌شده (AVE) و پایایی ترکیبی (CR) محاسبه‌شده برای همه متغیرها در مدل اندازه‌گیری، به ترتیب بزرگ‌تر از ۰/۵ و ۰/۷ بوده است؛ بنابراین، روایی همگرا و پایایی ترکیبی ابزار پژوهش تأیید شده است. با توجه به این‌که مقدار AVE برای هر متغیر از مقادیر میانگین مجذور واریانس مشترک (ASV) و حداکثر مجذور واریانس مشترک (MSV) بین همه متغیرها در مدل اندازه‌گیری بزرگتر بوده، روایی واگرای ابزار پژوهش نیز تأیید شده است.



Soil Reduce Pollution کاهش آلودگی خاک Air Reduce Pollution کاهش آلودگی هوا

Water Reduce Pollution کاهش آلودگی آب Noise Reduce Pollution کاهش آلودگی صوتی

شکل ۳. مدل اندازه‌گیری پژوهش در حالت تخمین ضرایب استاندارد برای متغیر کاهش آلودگی‌های محیطزیستی

Figure 3. Standard Coefficient Estimates of the Environmental Pollution Reduction Model

جدول ٤. شاخص‌های اندازه‌گیری، روایی و پایایی ابزار پژوهش

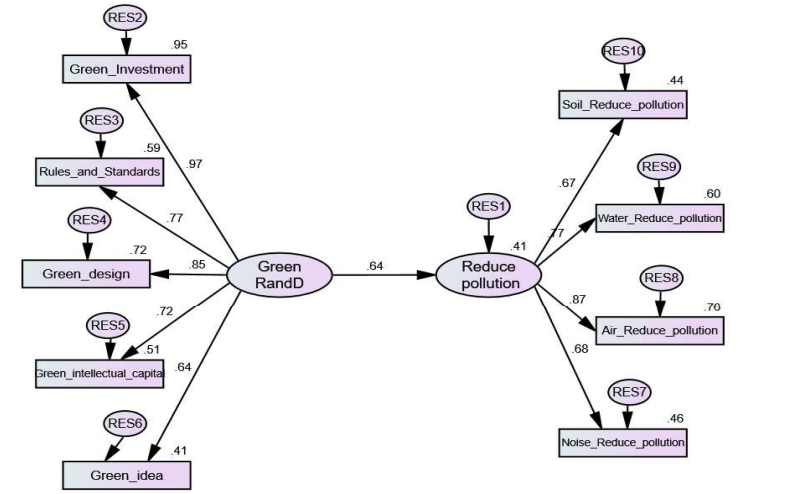
Table 3. Measurement, Validity, and Reliability Indices

متغیر Variable	مؤلفه‌ها Factor	شاخص Index	کد Code	بار عاملی Factor Load	منبع Ref.	روایی و پایایی Validity & Reliability
تحقیق و توسعه سبز Green R&D	ایده سبز Green idea	ایده استفاده از CO2 موردنیاز جلبک‌ها از نیروگاه‌ها Providing CO_2 from power plants to algae	GID1	0.968	Li et al., (2019); Muduli et al., (2013)	AVE = 0.672 CR = 0.909 MSV = 0.136 ASV = 0.041
		ایده مقابله با موانع تولید سوخت سبز Coping with green fuel production obstacles	GID2	0.718	Zhang & Zhu (2019)	
		ایده به‌کارگیری ریزجلبک‌ها به‌عنوان بهترین گزینه‌های تولید سوخت سبز Utilizing microalgae as the best alternative for green fuel production	GID3	0.691	Zhang & Zhu (2019)	
		ایده صرفه‌جویی در آب موردنیاز برای پرورش ریزجلبک‌ها Saving water in microalgae cultivation	GID4	0.714	Fernández et al., (2018)	
		ایده توسعه سوخت سبز Green fuel development ideas	GID5	0.959	Li et al., (2019)	
	سرمایه فکری سبز Green intellectual capital	نقش کارکنان R&D سازمان جهت حفاظت از محیطزیست با استفاده از سرمایه فکری سبز Role of R&D employees in environmental protection through green intellectual capital	GIC1	0.859	Yong et al., (2019)	AVE = 0.772 CR = 0.910 MSV = 0.136 ASV = 0.044
		تعیین صلاحیت کارکنان جهت مشارکت در اقدامات دوستدار محیطزیست Qualification of employees to participate in eco-friendly measures	GIC2	0.927	Yong et al., (2019)	

متغیر Variable	مؤلفه‌ها Factor	شاخص Index	کد Code	بار عاملی Factor Load	منبع Ref.	روایی و پایایی Validity & Reliability
		تلاش کارکنان جهت کاهش تولید محصولات نامنطبق با استانداردهای محیط‌زیستی Employee efforts to reduce the production of products incompatible with environmental standards	GIC3	0.847	Yong et al., (2019)	
	طراحی سبز Green Design	راهکارهای مؤثر محیط‌زیستی در صنعت ساختمان Effective environmental solutions in the construction industry	GD1	0.787	Choi et al., (2019)	AVE = 0.619 CR = 0.889 MSV = 0.123 ASV = 0.064
		تعیین تدابیر پایدار در طراحی و ساخت ساختمان‌های مدرن Sustainable measures in the design and construction of modern buildings	GD2	0.711	Huo et al., (2019)	
		نگرش طراح ساختمان سبز نسبت به پایداری محیط‌زیست Green building designer approach toward environmental sustainability	GD3	0.929	Huo et al., (2019)	
		برخورد طراح محصولات سبز نسبت به پایداری منابع محیط‌زیستی Green building designer attitude toward the sustainability of environmental resources	GD4	0.670	Choi et al., (2019)	
		مطالعه روش پایدار ساختارهای معماری در طراحی سبز Study of sustainable architectural structure method in green design	GD5	0.811	Choi et al., (2019)	
	قوانین و استانداردها Rules and Standards	رعایت استانداردهای هوای پاک Clean air standards	GRS1	0.849	Zhang & Zhu (2019)	AVE = 0.613 CR = 0.887 MSV = 0.161 ASV = 0.076
		رعایت استانداردهای کاهش تولید زباله Waste production reduction standards	GRS2	0.705	Ghosh (2019)	
		رعایت استانداردهای استفاده بهینه از آب Optimal water consumption standards	GRS3	0.710	Ghosh (2019)	
		وضع قوانین و دستورالعمل‌های مؤثر از سوی مراجع قانونی برای مدیریت پسماند Implementing effective laws and guidelines for waste management by authorities	GRS4	0.725	Agarwal et al., (2018); Zhang & Zhu (2019)	
		نظارت بر استقرار استانداردها و رعایت قوانین محیط‌زیستی توسط زنجیره تأمین Supervision of the implementation of environmental standards and regulations by supply chains	GRS5	0.904	Agarwal et al., (2018)	
	سرمایه‌گذاری سبز Green Investment	سرمایه‌گذاری در تولید محصولات سبز Investing in manufacturing green products	GI1	0.758	Liao & Shi (2018)	AVE = 0.647 CR = 0.846 MSV = 0.161 ASV = 0.075
		سرمایه‌گذاری در جهت جذب افراد خلاق در حوزه تولید محصولات سبز Investing in attracting creative individuals in green product development	GI2	0.847	Song et al., (2017)	
		سرمایه‌گذاری در R&D در حوزه محصولات سبز Investing in R&D in green products	GI3	0.805	Song et al., (2017)	
کاهش آلودگی محیط‌زیستی Environmental Pollution Reduction	کاهش آلودگی خاک Soil Pollution Reduction	تعیین ویژگی‌های سلامت خاک در مناطق مسکونی Determining soil health characteristics in residential areas	SRP1	0.860	Wang et al., (2019)	AVE = 0.726 CR = 0.888 MSV = 0.026 ASV = 0.015
		تحت تأثیر قرار گرفتن شاخص میکروبی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین Microbial index in heavy metal-contaminated soils	SRP2	0.865	Wang et al., (2019)	

متغیر Variable	مؤلفه‌ها Factor	شاخص Index	کد Code	بار عاملی Factor Load	منبع Ref.	روایی و پایایی Validity & Reliability
		تعیین ویژگی‌های مؤثر خاک بر کیفیت زمینی آن Determining soil characteristics affecting land quality	SRP3	0.831	Wang et al., (2019)	
کاهش آلودگی آب Water Pollution Reduction		دفع صحیح پسماند Proper waste disposal	WRP1	0.815	Khan et al., (2018)	AVE = 0.638 CR = 0.841 MSV = 0.015 ASV = 0.010
		جلوگیری از ریختن زباله در آب‌های جاری Prevention of waste disposal in flowing waters	WRP2	0.768	Li et al., (2017)	
		جلوگیری از ورود پسماندهای شهری در آب Prevention of urban waste penetration in water	WRP3	0.813	Khan et al., (2018)	
کاهش آلودگی هوا Air pollution reduction		کاهش استفاده از وسایل نقلیه شخصی Reducing personal vehicle utilization	ARP1	0.718	Li et al., (2021)	AVE = 0.569 CR = 0.795 MSV = 0.061 ASV = 0.034
		کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای Reducing greenhouse gas emissions	ARP2	0.886	Li et al., (2021)	
		استفاده از فیلتراسیون صنعتی در کارخانه‌ها Use of industrial filtration in factories	ARP3	0.637	Balsalobre et al., (2016)	
کاهش آلودگی صوتی Noise Pollution Reduction		کاهش به‌کارگیری تجهیزات پر سروصدا Reducing the use of noisy equipment	NRP1	0.776	Lu et al., (2019); Khan et al., (2018)	AVE = 0.650 CR = 0.844 MSV = 0.061 ASV = 0.024
		کاهش تردد ماشین‌های دارای سروصدای زیاد Reducing the movement of noisy vehicles	NRP2	0.970	Li et al., (2021)	
		کاهش تولید صداهای ناهنجار ترافیک Reduction of annoying traffic noise	NRP3	0.638	Li et al., (2021)	

نتایج سنجش برازش مدل اندازه‌گیری در جدول ۵ ارائه‌شده و همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل اندازه‌گیری از برازش مناسبی برخوردار است. نتایج حاصل از مدل پژوهش، در حالت ضرایب استاندارد در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴. مدل ساختاری پژوهش در حالت تخمین ضرایب استاندارد

Figure 4. SEM with Standard Coefficient Estimates

جدول ۵. نتایج برازش مدل پژوهش
Table 4. Fitness Results

شاخص‌های برازش Index	X2/df	RMSEA	GFI	NFI	TLI	CFI	IFI
مقدار مجاز Allowed Range	<3	<0.08	>0.8	>0.9	>0.9	>0.9	>0.9
تحقیق و توسعه سبز Green R&D	2.475	0.074	0.865	0.901	0.924	0.938	0.938
کاهش آلودگی محیط‌زیستی Environmental Pollution Reduction	1.558	0.046	0.956	0.950	0.974	0.981	0.981

مطابق جدول ۶ برای تأییدات روابط بین متغیرهای مکنون پژوهش از آزمون t-value نیز استفاده شده است و با توجه به بالاتر بودن مقدار t-value از مقدار بحرانی ۱/۹۶ می‌توان نتیجه گرفت که این روابط مورد تأیید هستند. همچنین، مطابق جدول ۶ عدد معناداری به‌دست‌آمده برای تأثیر تحقیق و توسعه سبز بر کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی، نشان‌دهنده معنادار بودن این رابطه در سطح اطمینان ۹۹ درصد است. درنتیجه می‌توان گفت این فرضیه مورد تأیید است.

جدول ٦. تأییدات روابط و معناداری
Table 5. Relationships and Significance

روابط Relationship	t-value	Sig	Path coefficient	R2
تحقیق و توسعه سبز ← سرمایه‌گذاری سبز Green R&D --- > Green Investment	22.028	***	0.97	**0.95**
تحقیق و توسعه سبز ← قوانین و استانداردها Green R&D --- > Rules and Standards	**15.328**	***	0.77	**0.59**
تحقیق و توسعه سبز ← طراحی سبز Green R&D --- > Green Design	22.028	***	0.85	0.72
تحقیق و توسعه سبز ← سرمایه فکری سبز Green R&D --- > Green Intellectual Capital	13.834	***	0.72	0.51
تحقیق و توسعه سبز ← ایده سبز Green R&D --- > Green Idea	11.869	***	0.64	0.41
کاهش آلودگی ← کاهش آلودگی آب Pollution Reduction --- > Water Pollution Reduction	10.586	***	0.77	0.60
کاهش آلودگی ← کاهش آلودگی هوا Pollution Reduction --- > Air Pollution Reduction	13.169	***	0.87	0.76
کاهش آلودگی ← کاهش آلودگی صوتی Pollution Reduction --- > Noise Pollution Reduction	10.820	***	0.68	0.46
کاهش آلودگی ← کاهش آلودگی خاک Pollution Reduction --- > Soil Pollution Reduction	10.586	***	0.67	0.44
فرضیه: تحقیق و توسعه سبز ← کاهش آلودگی محیط‌زیستی H1: Green R&D --- > Pollution Reduction	2.970	0.003	0.64	0.41

*** به معنای p کمتر از ۰/۰۱ است.

بحث و نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، جوامع صنعتی موجب افزایش آلودگی‌ها و مشکلات محیط‌زیستی و درنتیجه، افزایش نگرانی در ارتباط با محیط‌زیست شده‌اند که این نگرانی‌ها، سبب پیدایش مفهوم جدیدی به نام تحقیق و توسعه سبز شده است. ازآنجاکه مسئله تحقیق و توسعه سبز و نقش آن در کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی، از مباحث مهم در اقتصاد محیط‌زیست است، لذا پژوهش حاضر با هدف تعیین تأثیر تحقیق و توسعه سبز بر آلودگی‌های محیط‌زیستی انجام شده است.

با بررسی و مطالعه ادبیات پژوهش، پنج مؤلفه اصلی و تأثیرگذار بر تحقیق و توسعه سبز شناسایی شد که این مؤلفه‌ها شامل ایده‌های سبز، سرمایه‌گذاری سبز، طراحی سبز، سرمایه

فکری سبز و قوانین و استانداردهای سبز بودند. نتایج پژوهش از فرضیه تأثیر تحقیق و توسعه سبز بر آلودگی‌های محیطزیستی حمایت کرد که این آلودگی‌ها شامل آلودگی خاک، آلودگی آب، آلودگی هوا و آلودگی صوتی بوده است. این نتیجه، هم‌راستا با پژوهش‌های پیشین نظیر مطالعات لی و مین (۲۰۱۵)، چن و همکاران (۲۰۲۱)، فرناندز و همکاران (۲۰۱۸)، مودولی و همکاران (۲۰۱۳)، آلام و همکاران (۲۰۱۹) و چن و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که تحقیق و توسعه سبز بر کاهش آلودگی‌های محیطزیستی تأثیر مثبت دارد و هرگونه سرمایه‌گذاری بر روی تحقیقاتی که منجر به تولید نوآوری یا توسعه محصولات و فرایندهای سبز شود، در کاهش آلودگی‌های محیطزیستی مؤثر است. بر این اساس، می‌توان گفت تحقیق و توسعه سبز نوعی پایداری برای شرکت‌ها ایجاد می‌کند که در آن، مجموعه‌ای از محصولات، ایده‌ها و فرایندهایی که منجر به خلق یا توسعه محصولات و نوآوری می‌گردد، سبب حفظ محیطزیست می‌شوند.

در بین مؤلفه‌های تحقیق و توسعه سبز، تأثیرگذارترین عامل «سرمایه‌گذاری سبز» با ضریب مسیر ۰/۹۷ است. این موضوع نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری در شیوه‌ها و فناوری‌های دوستدار محیطزیست نقش مهمی در کاهش آلودگی دارد. در این راستا به سازمان‌ها پیشنهاد می‌گردد با دانشگاه‌ها، مؤسسات تحقیقاتی و مراکز نوآوری وارد شراکت شوند تا از تخصص و دانش آن‌ها در زمینه فناوری‌های سبز استفاده کنند. همچنین، ایجاد مشارکت برای دسترسی به کمک‌های مالی تحقیقاتی، اشتراک منابع و استفاده از تخصص دانشگاهی برای هدایت نوآوری سبز در سازمان باید موردتوجه قرار گیرد. شرکت در گروه‌های کاری، کنفرانس‌ها و سمینارها نیز سبب می‌شود تا سازمان از روندهای نوظهور، فناوری‌ها و مقررات مربوط به سرمایه‌گذاری سبز مطلع شود. علاوه بر این، لازم است عملکرد و شیوه‌های محیطزیستی تأمین‌کنندگان بالقوه مورد ارزیابی قرار گیرد و کسانی انتخاب شوند که با اهداف سبز سازمان همسو هستند. به‌علاوه، سیاست‌های تدارکات سبز در سازمان ایجاد شود که خرید محصولات و خدمات سازگار با محیطزیست را در اولویت قرار دهد و هنگام تصمیم‌گیری برای خرید، عواملی مانند کارایی انرژی، قابلیت بازیافت و استفاده از مواد پایدار در نظر گرفته شود. لازم است اهداف و شاخص‌های خاص برای اندازه‌گیری پیشرفت در کاهش آلودگی و بهبود عملکرد محیطزیستی تعیین شود و به‌طور منظم معیارهای محیطزیستی بررسی و گزارش شود تا اثربخشی سرمایه‌گذاری‌های سبز پیگیری و زمینه‌های بهبود شناسایی گردد.

مؤلفه بعدی که بیشترین تأثیر را در تحقیق و توسعه سبز دارد «طراحی سبز» با ضریب مسیر ۰/۸۵ است. در این راستا به سازمان‌ها پیشنهاد می‌شود دستورالعمل‌های جامعی برای شیوه‌های طراحی پایدار که با استانداردها و گواهی‌های محیطزیستی شناخته‌شده همخوانی دارد، ایجاد و اجرا شود و بحث‌های بین‌رشته‌ای و اشتراک دانش برای ترویج تبادل ایده‌ها و تخصص در مورد شیوه‌های طراحی پایدار تسهیل گردد. لازم است سازمان‌ها با انجام ارزیابی‌های جامع، تفکر چرخه عمر را در فرآیند طراحی بگنجانند که این موضوع شامل ارزیابی اثرات محیطزیستی یک محصول یا خدمات در کل چرخه عمر آن، از استخراج مواد خام تا دفع آن است. همچنین، اصول اقتصاد چرخشی که هدف آن به حداقل رساندن ضایعات، به حداکثر رساندن بهره‌وری منابع و ترویج استفاده مجدد و بازیافت محصول است، موردپذیرش قرار گیرد. لازم است محصولات به‌صورت مدولار با امکان جداسازی قطعات طراحی شود که امکان تعمیر آسان‌تر، جایگزینی قطعات و بازیابی مواد را فراهم می‌کند. استفاده از مواد بازیافتی و قابل بازیافت در طراحی محصول تشویق شود و مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه‌ای که از استفاده و ساخت مجدد محصول پشتیبانی می‌کنند، شناسایی شود. بر رویکردهای طراحی کاربر محور که نیازها، ترجیحات و رفتارهای کاربر را در اولویت قرار می‌دهند، تأکید زیادی شود. برای اطمینان از توسعه محصولات سازگار با محیطزیست که نیازهای کاربران را برآورده می‌کند، لازم است بازخورد آن‌ها در نظر گرفته شود و کاربران در فرآیند طراحی مشارکت داده شوند. پذیرش گواهینامه‌های ساختمان سبز، مانند LEED (رهبری در طراحی انرژی و محیطی[1]) یا BREEAM (روش ارزیابی محیطی موسسه تحقیقاتی ساختمان[2])، به‌عنوان استاندارد در طراحی ساختمان‌های سبز را تشویق شود و تعامل با تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان برای ترویج شیوه‌های پایدار در سراسر زنجیره تأمین موردتوجه قرار گیرد.

سومین مؤلفه تأثیرگذار، «قوانین و استانداردها» با ضریب مسیر ۰/۷۷ بوده است که این امر بر اهمیت ایجاد مقررات محیطزیستی روشن و سخت‌گیرانه و استانداردهای انطباق

1. Leadership in Energy and Environmental Design
2. Building Research Establishment Environmental Assessment Method

تأکید می‌کند. در این راستا پیشنهاد می‌شود برای ایجاد فرهنگ پاسخ‌گویی و بازدارندگی، بازرسی‌ها، حسابرسی‌ها و جریمه‌هایی برای عدم رعایت منظم اجرا شود. علاوه بر این، همکاری بین نهادهای نظارتی، سهامداران صنعت و کارشناسان محیط‌زیست برای توسعه استراتژی‌های اجرایی مؤثر مورد تشویق قرار گیرد و همکاری بین بازیگران صنعت برای ایجاد ابتکارات داوطلبانه خاص و چارچوب‌های خودتنظیمی تسهیل گردد. شرکت‌هایی که از طریق گواهینامه‌ها، جوایز و به رسمیت شناختن عمومی عملکرد محیط‌زیستی اقدامات مؤثری انجام می‌دهند، به رسمیت شناخته‌شده و به آن‌ها پاداش درخور تعلق گیرد. در تحقیق و توسعه فناوری‌های نوآورانه‌ای که انطباق با قوانین و استانداردهای محیط‌زیستی را تسهیل می‌کند، سرمایه‌گذاری صورت گیرد. برای پذیرش ابزارها و پلتفرم‌های دیجیتالی که فرآیندهای گزارش‌دهی را ساده می‌کند و امکان جمع‌آوری، تجزیه‌وتحلیل و شفافیت کارآمد داده‌ها را فراهم می‌کند، مشوق‌های لازم در نظر گرفته شود. برای اطمینان از این‌که قوانین و استانداردها، منعکس‌کننده انتظارات جامعه هستند و حمایت گسترده‌ای دریافت می‌کنند، ذینفعان از طریق مشاوره، کارگاه‌ها و مشارکت در جریان امور قرار داده شوند. همکاری بین‌المللی و تبادل دانش برای هماهنگ کردن استانداردهای محیط‌زیستی و ترویج بهترین شیوه‌ها در سطح جهانی ترویج گردد. تشویق همکاری‌های فرامرزی برای رسیدگی به چالش‌های محیط‌زیستی و تسهیل انتقال فناوری‌های سبز از مواردی است که در سطح ملی باید موردتوجه قرار گیرد.

سرمایه فکری سبز با ضریب مسیر ۰/۷۲، در رتبه بعدی تأثیرگذاری قرار دارد و اهمیت پرورش دانش و تخصص را در بین محققان و متخصصان حوزه فناوری‌های دوستدار محیط‌زیست نشان می‌دهد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها برنامه‌های آموزشی و توسعه جامع را طراحی و اجرا کنند که بر ایجاد مهارت‌ها و شایستگی‌های کارکنان در شیوه‌های دوستدار محیط‌زیست تمرکز دارد. این برنامه‌ها می‌توانند شامل دوره‌های تخصصی، کارگاه‌ها و گواهینامه‌ها در زمینه‌هایی مانند انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت ضایعات و طراحی پایدار باشد. پیشنهاد می‌گردد فرهنگ یادگیری مستمر و توسعه حرفه‌ای با فراهم کردن فرصت‌هایی برای آموزش مداوم و ارتقاء مهارت به کارمندان، در سازمان پرورش یابد. از مشارکت در کنفرانس‌ها، سمینارها و رویدادهای صنعتی با تمرکز بر پایداری محیطی حمایت گردد و کارمندان مورد تشویق قرار گیرند تا از طریق منابع آنلاین، وبینارها و جوامع عملی، در یادگیری خودراهبر شرکت کنند. ایجاد پلتفرم‌های دیجیتالی که در آن کارکنان بتوانند بهترین شیوه‌ها، داستان‌های موفقیت و درس‌های آموخته‌شده در اجرای پروژه‌های سازگار با محیط‌زیست را به اشتراک بگذارند. استفاده از انجمن‌های داخلی، وبلاگ‌ها یا ابزارهای همکاری اجتماعی برای تسهیل اشتراک‌گذاری دانش و ترویج فرهنگ نوآوری و پایداری تشویق شود. پیشنهاد می‌گردد سیستم‌های شناسایی و پاداش برای تشویق مشارکت کارکنان در نوآوری‌های سبز و طرح‌های پایداری اجرا شود که می‌تواند شامل جوایز و فرصت‌های پیشرفت شغلی برای افرادی باشد که تعهد و دستاوردهای برجسته‌ای را در پیشبرد شیوه‌های دوستدار محیط‌زیست نشان می‌دهند.

درنهایت، ایده‌های سبز، با ضریب مسیر ۰/۶۴ اهمیت پرورش نوآوری و تولید ایده‌های جدید برای راه‌حل‌های پایدار را برجسته می‌کند. برای افزایش بیشتر تولید و اجرای ایده سبز، سازمان‌ها می‌توانند فضاهای اختصاصی یا مراکز نوآوری را ایجاد کنند که گروه‌های چند رشته‌ای شامل محققان، مهندسان، طراحان و کارشناسان محیطی را گرد هم می‌آورد. این هاب‌ها می‌توانند به‌عنوان انکوباتورهایی برای تولید ایده‌های سبز، ترویج همکاری و ارائه منابع برای توسعه و آزمایش نمونه اولیه عمل کنند. مشارکت بین دانشگاه، صنعت، سازمان‌های دولتی و سازمان‌های غیرانتفاعی برای تسهیل تبادل دانش، پروژه‌های تحقیقاتی مشترک و حل مشترک مشکلات مورد تشویق قرار گیرد. منابع و بودجه برای حمایت از تلاش‌های تحقیق و توسعه با تمرکز بر فناوری‌های سبز و راه‌حل‌های پایدار تخصیص یابد. کمک‌های مالی، برنامه‌های مالی و مشوق‌هایی برای تشویق محققان و کارآفرینان به کشف و توسعه ایده‌های جدید برای پرداختن به چالش‌های محیط‌زیستی ایجاد شود. رویکردهای نوآوری باز با درگیر شدن با ذینفعان خارجی ازجمله مشتریان، تأمین‌کنندگان و جوامع موردپذیرش قرار گیرد. ایجاد بسترهایی برای جمع‌سپاری ایده و چالش‌های نوآوری باز، جایی که افراد و سازمان‌ها می‌توانند ایده‌ها و راه‌حل‌های سبز خود را به اشتراک بگذارند. در آموزش محیط‌زیست و برنامه‌های آگاهی‌بخش، سرمایه‌گذاری صورت گیرد تا فرهنگ پایداری تقویت شود و الهام‌بخش افراد برای ایجاد ایده‌های سبز گردد. مکانیسم‌هایی برای تسهیل انتقال فناوری‌های سبز از مؤسسات تحقیقاتی و دانشگاه‌ها به صنایع ایجاد شود و همکاری بین محققان و شرکای صنعتی برای پر کردن شکاف بین نتایج تحقیقات و کاربردهای عملی مورد

تشویق قرار گیرد.

با عطف به عوامل آلاینده، این پژوهش سطوح مختلفی از تأثیر را بر کاهش آلودگی‌های محیطزیستی نشان می‌دهد. تأثیرگذارترین عامل، کاهش آلودگی هوا با ضریب مسیر ۰/۸۷ و پس‌ازآن، کاهش آلودگی آب با ضریب ۰/۷۷ است. این امر بر نیاز فوری به تمرکز تلاش‌ها بر روی رسیدگی به آلودگی هوا و آب تأکید می‌کند، زیرا بالاترین پتانسیل را برای بهبود قابل‌توجه محیطزیست دارند. سیاست‌ها و ابتکارات باید کاهش انتشارات ناشی از فعالیت‌های صنعتی، ترویج منابع انرژی پاک، اجرای فناوری‌های تصفیه فاضلاب و تنظیم دفع زباله در بدنه‌های آبی را هدف قرار دهند. کاهش آلودگی صوتی با ضریب مسیر ۰/۶۸ نیز در رتبه بعدی قرار دارد که نشان‌دهنده اهمیت آن در بهبود کیفیت محیط‌های شهری است. استراتژی‌های کاهش آلودگی صوتی، می‌تواند شامل اجرای اقدامات مدیریت ترافیک، استفاده از مواد کاهنده صدا در ساخت‌وساز و تنظیم سطح صدا در مناطق صنعتی و مسکونی باشد. درنهایت، کاهش آلودگی خاک ضریب مسیر ۰/۶۷ در پایین‌ترین رتبه قرار دهد. اولویت‌بندی تلاش‌های حفاظتی و اصلاحی خاک با اجرای شیوه‌های کشاورزی پایدار، کاهش استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای مضر و بررسی تکنیک‌های سازگار با محیطزیست مانند گیاه‌پالایی ضروری است.

یافته‌های پژوهش بر ماهیت چندبعدی کاهش آلودگی و به‌هم‌پیوستگی اجزای مختلف در تحقیق و توسعه سبز تأکید دارد. سازمان‌ها و سیاست‌گذاران باید با پرداختن هم‌زمان به همه جنبه‌ها، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری سبز، طراحی، سرمایه فکری و ایده‌ها و درعین‌حال هدف قرار دادن آلودگی هوا، آب، صدا و خاک، رویکردی جامع در پیش گیرند. در انتها باید اشاره داشت که پژوهش حاضر علی‌رغم ارزش نظری، دارای محدودیت‌هایی نیز است که می‌تواند راهنمایی برای پژوهش‌های آتی باشد. از مهم‌ترین محدودیت‌های پژوهش می‌توان گفت با توجه به این‌که مطالعه در ایران انجام‌شده و این کشور دارای ویژگی‌های خاص خود است، لذا نتایج آن را می‌توان به کشورهایی که ازنظر ویژگی‌های محیطزیستی و موقعیت جغرافیایی به ایران نزدیک هستند، تعمیم داد. بر این اساس، پیاده‌سازی مدل پژوهش در سایر کشورهای درحال‌توسعه و بررسی میزان تأثیرگذاری تحقیق‌وتوسعه بر کاهش آلودگی محیطزیستی در آن کشورها، می‌تواند قدرت تعمیم‌پذیری نتایج را افزایش دهد. لذا پیشنهاد می‌شود این مطالعه در سایر کشورهای درحال‌توسعه نیز صورت گیرد. همچنین، اثر متغیرهای تعدیلگر نظیر نوع صنعت، اندازه سازمان، میزان سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و مانند آنکه بر رابطه تحقیق و توسعه سبز و کاهش آلودگی‌های محیطزیستی تأثیرگذار هستند، در این پژوهش موردبررسی قرار نگرفته است، لذا به محققان آتی توصیه می‌شود نسبت به شناسایی و اثرگذاری این موارد اقدام کنند.

References

Agarwal, A., Giraud, F., & Li, Y. (2018). “A mediation model of green supply chain management adoption: The role of internal impetus”. *International Journal of Production Economics*, 205, 342-358. doi:10.1016/j.ijpe.2018.09.011

Alam, M., Atif, M., Chien-Chi, C., & Soytaş, U. (2019). “Does corporate R&D investment affect firm environmental performance? Evidence from G-6 countries”. *Energy Economics*, 28, 401-411. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.11.031

Balsalobre, D., Álvarez-Herránz, A., & Baños, J. (2016). “La innovación y la sustitución energética como medidas de corrección medioambiental en países de la OCDE”. *Estudios de Economía Aplicada,* 34(1), 235-260. doi:10.25115/eae.v34i1.3021

Casamayor, J.L., & Daizhong, S. (2021). “Investigation of a process to eco-design led lighting products to enhance the adoption of eco-design methods and tools by industry”. *Sustainability*, 13(8), 4512. doi:10.3390/su13084512

Chen, Y.S. (2008). “The positive effect of green intellectual capital on competitive advantages of firms”. *Journal of Business Ethics*, 77, 271–286. doi:10.1007/s10551-006-9349-1

Chen, J., Cheng, J., & Dai, S. (2017). “Regional eco-innovation in China: An analysis of eco-innovation levels and influencing factors”. *Journal of Cleaner Production*, 153, 1-14.doi:10.1016/J.JCLEPRO.2017.03.141

Chen, S., Ma, J., Ding, D., Yu, S., & Tang, Y. (2021). "The impact of green R&D activities on SO2 emissions: Evidence from China". *Mathematical Problems in Engineering*, 13. doi:10.1155/2021/6680560

Choi, J., Gyulee, M., Seok Oh, H., Geun Bae, S., Hwan, A.J., Yo Yun, D., & Seon-Park, H. (2019). "Multi-objective green design model tomitigate environmental impact of construction of mega columns for super-tall buildings". *Science of the Total Environment,* 674, 580–591. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.04.152

Gholampour-Arbastan, H., Gitipour, S., Baghdadi, M., & Rezaee, M. (2023). "Assessment of public awareness and preferences of household hazardous waste management". *Environmental Education and Sustainable Development*, 12(1), 61-75. doi:10.30473/ee.2023.64718.2552

Fernández, Y., Fernández López, M.A., & Olmedillas Blanco, B. (2018). "Innovation for sustainability: The impact of R&D spending on CO2 emissions". *Journal of Cleaner Production*, 172, 3459-3467. doi:10.1016/j.jclepro.2017.11.001

Ghaderi, N., Jafari, S., & Mohammady, M. (2024). "The Role of green human resources management on environmentally friendly organizational citizenship behavior and environmental performance at the university". *Environmental Education and Sustainable Development*, 12(2), 69-83.doi:10.30473/ee.2023.64604.2545

Ghisetti, C., & Pontoni, F. (2015). "Investigating policy and R&D effects on environmental innovation: Ameta-analysis". *Ecological Economics,* 118, 57–66. doi:10.1016/j.ecolecon.2015.07.009

Ghosh, M. (2019). "Determinants of green procurement implementation and its impact on firm performance". *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(2), 462-482. doi:10.1108/JMTM-06-2018-0168

Hair, J., Black, C., Babin, J., & Anderson, E. (2010). *Multivariate Data Analysis*, USA: Prentice Hall.

Huo, T., Ren, H., & Cai, W. (2019). "Estimating urban residential building-related energy consumption and energy intensity in China based on improved building stock turnover model". *The Science of Total Environment*, 650, 427–437. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.008

Kabiri, A. (2022). "Investigating the relationship between environmental culture and water consumption pattern (Case study: Residents in the South of Urmia Lake)". *Environmental Education and Sustainable Development,* 10(4), 35-51.doi:10.30473/ee.2022.58868.2450

Khamseh, A., & Marei, P. (2020). "Designing a model developed to assess the capabilities of technological innovation in Iranian construction of power plant equipment industries". *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18, 5, 1241-1249. [In Persian]. doi:10.1108/JEDT-10-2019-0276.

Khan, F.R., Mayoma, B.S., Biginagwa, F.J., & Syberg, K. (2018). *Microplastics in Inland African Waters: Presence, Sources, and Fate.* In: Wagner M., Lambert S. (Eds) Freshwater Microplastics. Springer, Cham. The Handbook of Environmental Chemistry, 58, 101-124. doi:10.1007/978-3-319-61615-5_6

Khoshnevis, M., & Pajooyan, J. (2012). "Effects of environmental pollution on human development index in developed countries". *Quarterly of Economic Sciences*, 6 (20), 39-67. [In Persian] http://iiesj.ir/article-1-464-en.html

Li, X., Hussain, S.A., Sobri, S., & Syazarudin Md Said, M. (2021). "Overviewing the air quality models on air pollution in Sichuan Basin, China". *Chemosphere*, 271, 129502. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.1295.

Li, T., Zhang, J., Wang, J., Zhang, Y., Liu, M., Jiang, L., Dunnan Liu, D., & Li, K. (2019). "Design ideas of green energy market trading mechanism based on charging network and vehicle network". IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*, 233, 052011. doi:10.1088/1755-1315/233/5/052011.

Li, J., Liu, H., & Chen, J.P. (2017). "Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection". *Water Research,* 137, 362-374.

doi:10.1016/j.watres.2017.12.056

Liao, X. & Shi, X. (2018). "Public appeal, environmental regulation and green investment: Evidence from China". *Energy Policy*, 119, 554-562. doi:10.1016/j.enpol.2018.05.020.

Lu, C., Gao, L., Pan, Q., Li, X., & Zheng. J. (2019). "A multi-objective cellular grey wolf optimizer for hybrid flowshop scheduling problem considering noise pollution, Appl". *Soft Computing*, 75, 728-749. doi:10.1016/j.asoc.2018.11.043.

Muduli, K., Govindan, K., Barve, A., Kannan, D., & Geng, Y. (2013). "Role of behavioural factors in green supply chain management implementation in Indian Mining Industries". *Resources, Conservation and Recycling,* 76, 50–60. doi:10.1016/j.resconrec.2013.03.006.

Noemani Seighalan, A., Khamseh, A., & Torabi, T. (2021). "Formulation of research and development strategy in power plant equipment's manufacturing industries". *Journal of Energy Management and Technology*, 5(2), 32-44. [In Persian] doi:10.22109/jemt.2020.214268.1222

Nokani, S., & Azami, M. (2018). "Measuring effects of green supply chain on creation of technological innovation (Case-study: Biglari flour company, Kermanshah province, Iran)". *International Conference of Management, Accounting, and Knowledge-based Economy*, Mashhad, Iran. [In Persian]

Patil, A., & Biswas, S. (2014). "Opportunities and challenges for sustainable R&D in India". *International Journal of Research and Development - A Management Review* (IJRDMR), 3 (1), 2319–5479.

Sheikhi, R., Hosseini Shakib, M., Shavvalpour arani, S., & Khamseh, A. (2021). "Identifying the key factors affecting on enhancing green innovation capabilities in the automotive industry". *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(2), 29-44. [In Persian]

Song, Y., Yao, S., Yu, D., & Shen, Y. (2017). "Risky multi-criteria group decision making on green capacity investment projects based on supply chain". *Journal of Business Economics & Management*, 18(3), 355–372. doi:10.3846/16111699.2017.1331461.

Wang, J., Wang, M., Ru, S., & Liu, X. (2019). "High levels of microplastic pollution in the sediments and benthic organisms of the South Yellow Sea, China". *Science of The Total Environment*, 651, 1661-1669. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.007

Yong, J.Y., Yusliza, M.Y., Ramayah, T., & Fawehinmi, O. (2019). "Nexus between green intellectual capital and green human resource management". *Journal of Cleaner Production*, 215, 364-374. doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.306

Zarei, G., Ghazaei, F., & rashedi zahra, A. (2024). "Fitting the structural relationship between uses of home appliance with sustainable water consumption based on attitude and environmental knowledge: The mediating role of behavioral tntention". *Environmental Education and Sustainable Development*, 12(2), 9-25. doi:10.30473/ee.2023.61021.2425

Zhang, X.. & Xu, B. (2019). "R&D Internationalization and green innovation? Evidence from Chinese resource enterprises and environmental enterprises". *Sustainability*, 11, 7225. doi:10.3390/su11247225.