

Achieving Sustainable Performance: Application of the Internet of Things Capability in Carrying Out Appropriate Environmental Actions in Small and Medium Enterprises

*Seyed Mahmood Zanjirchi¹, Mehran Ziaecian², Hajar Soleymanizadeh³

1. Professor, Department of Management Science, Yazd University, Yazd, Iran

2. Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Management and Innovation, Shahid Ashrafi Esfahani University, Isfahan, Iran

3. Ph.D. Student in Industrial Management (Production and Operations), Department of Management Science, Yazd University, Yazd, Iran

Correspondence:

Seyed Mahmood Zanjirchi

Email: Zanjirchi@yazd.ac.ir

Received: 13.May.2025

Received in revised form: 30.Aug.2025

Accepted: 6.Sep.2025

How to cite:

Zanjirchi, S.M., Ziaecian, M., & Soleymanizadeh, H. (2026). Achieving Sustainable Performance: Application of the Internet of Things Capability in Carrying Out Appropriate Environmental Actions in Small and Medium Enterprises. *Journal of Environmental Education and Sustainable Development*, 14(2), 99-118. (DOI: [10.30473/EE.2025.72248.2773](https://doi.org/10.30473/EE.2025.72248.2773))

ABSTRACT

Despite the countless advantages of small and medium companies in increasing employment, increasing national production, and improving the quality of life of society, the lack of continuity of their performance is recognized as one of the main challenges in the country. The aim of the current research is to investigate the role of Internet of Things capabilities and appropriate environmental actions on the performance sustainability of Small and Medium Enterprises (SMEs). The statistical population of this research is the senior managers of SMEs in five selected provinces of the country (Isfahan, Tehran, Fars, Razavi Khorasan, and East Azariabjan) and 42 people were selected as a sample using the snowball sampling method. In this research, using the fuzzy Delphi approach, performance sustainability criteria and environmental measures and processes identified from the research literature were localized according to the small and medium companies of five selected provinces of the country. Next, by using the first step of the fuzzy house of quality matrix, the relationship of Internet of Things capabilities in carrying out appropriate environmental actions was investigated. The results of this section showed that the Internet of Things has the greatest impact on performing optimal processes, environmental performance assessment, and commitment to environmental standards. Also, the results of the second phase of the fuzzy house of quality matrix showed that the implementation of appropriate environmental actions has the greatest effect on achieving the reduction of greenhouse gas emissions, energy and resource consumption, customer satisfaction, the quality of manufactured products, and the amount of income in the company.

KEYWORDS

Sustainable Performance, Industry 4.0, Internet of Things, Appropriate Environmental Actions, Small and Medium Enterprises.



Introduction

Small and medium enterprises (SMEs) are crucial for fostering job creation, enhancing competitiveness through innovation, stimulating new investment opportunities, and promoting overall economic development. The European Commission defines SMEs as companies employing fewer than 250 individuals with an annual turnover not exceeding 50 million euros. In most developed economies, SMEs contribute significantly, accounting for 65% of employment and 55% of the Gross Domestic Product (GDP) (Yadegaridehkordi et al., 2023). In contrast, in developing nations like Iran, SMEs contribute 40% to the GDP and 50% to employment (Tajpour et al., 2023). Despite the vital role of SMEs in driving economic growth and employment rates, their recent development in Iran raises considerable concern. Therefore, the continuity and sustainability of SMEs are of particular importance. A key factor contributing to the lack of continuity and sustainability in these businesses is the absence of appropriate environmental measures and processes. It is estimated that SMEs are responsible for approximately 64% of industrial environmental impacts. One of the primary reasons for the inefficiency of traditional approaches and their limited adaptability to constant technological advancements and evolving societal needs is the imperative for new methodologies, such as Industry 4.0, and the integration of its associated technologies (Jayashree et al., 2021). Industry 4.0 refers to establishing communication between the physical and digital worlds, decentralizing business processes, making product production processes intelligent, and providing services using advanced technologies such as the Internet of Things, blockchain, etc., in order to simplify production processes, increase productivity, and profitability (Morovati Sharifabadi et al., 2024). Among the most significant Industry 4.0 technologies influencing the implementation of appropriate environmental measures and processes is the Internet of Things (IoT). The IoT denotes the interconnectedness of computing devices, mechanical systems, and digital machinery via the internet, operating autonomously without requiring human intervention (Mu and Antwi-Afari, 2024). Most existing studies have primarily investigated the impact of Industry 4.0 and its related technologies solely on performance sustainability. Consequently, these studies do not offer a clear understanding of how the Internet of Things (IoT) specifically contributes to performance sustainability. This gap in understanding may deter

managers and decision-makers from adopting IoT technologies, potentially leading to the continued failure of SMEs as pollution rates escalate. Therefore, the present study aims to investigate the capabilities of the Internet of Things technology in addressing environmental challenges and achieving performance sustainability within small and medium-sized enterprises.

Methodology

This study is applied in terms of purpose as its findings are directly applicable to SMEs. Methodologically, it is a descriptive-causal study utilizing a survey approach for data collection. The statistical population comprises senior managers of SMEs located in the five provinces with the highest concentration and activity of such companies in the country: Tehran, Isfahan, Fars, Razavi Khorasan, and East Azerbaijan. A sample of 42 senior managers from these five selected provinces was chosen using a snowball sampling method.

Result

In this study, performing optimal processes, equipment efficiency, employee training, waste management, commitment to environmental standards, environmental performance assessment, choosing the optimal transportation route, and using appropriate raw materials were identified as effective environmental measures and were confirmed using the Fuzzy Delphi approach. On the other hand, based on a review of the literature and research background, the criteria of market share, income, energy and resource consumption, greenhouse gas emissions, waste produced, use of recycled materials, quality of manufactured products, employee health and safety, employee satisfaction, and customer satisfaction were identified as the most important performance sustainability criteria. In addition to their confirmation based on the Fuzzy Delphi approach, three criteria of customer health and safety, turnover, and new job opportunities were added to the performance sustainability criteria by experts from small and medium-sized companies in five selected provinces of the country. The results of the first stage of the fuzzy quality house matrix showed that the Internet of Things plays a prominent role in enabling the three environmental actions ranked first to third, including performing optimal processes, assessing environmental performance, and committing to environmental standards, compared to other actions identified in small and medium-sized enterprises in the five

selected provinces of the country.

In this study, our literature review identified monitoring and control, accident prevention, raw material tracking, preventive maintenance and repairs, prediction of production needs, and internal and external information exchange as key capabilities of the Internet of Things (IoT) technology. Additionally, based on the literature and prior research, performing optimal processes, equipment efficiency, employee training, waste management, commitment to environmental standards, environmental performance assessment, choosing optimal transportation routes, and using appropriate raw materials were recognized as effective environmental measures. These measures were subsequently confirmed using a fuzzy Delphi approach. Furthermore, drawing from the literature review and existing research, we identified market share, income, energy and resource consumption, greenhouse gas emissions, waste produced, use of recycled materials, quality of manufactured products, employee health and safety, employee satisfaction, and customer satisfaction as the most crucial criteria for performance sustainability. Beyond their confirmation via the fuzzy Delphi approach, experts from SMEs in the five selected provinces further added three criteria: customer health and safety, turnover, and new job opportunities, to the performance sustainability criteria. The second stage of the house of quality matrix revealed that implementing appropriate environmental measures can lead to the achievement of sustainable performance criteria in SMEs across the five selected provinces. Specifically, the analysis from this second stage

indicated that greenhouse gas emissions, energy and resource consumption, customer satisfaction, product quality, and revenue are the top five ranked sustainable performance criteria. The results from the first stage of the fuzzy house of quality matrix indicated that the IoT plays a significant role in enabling the top three ranked environmental measures within SMEs in the five selected provinces. These measures are optimal process execution, environmental performance assessment, and commitment to environmental laws, highlighting the IoT's prominent influence compared to other identified measures.

Conclusion

Considering the identification of the capabilities of the Internet of Things in carrying out appropriate environmental measures and performance sustainability, it is suggested that by estimating the cost and examining organizational and external factors, the basis for the use of the Internet of Things in small and medium-sized companies be prepared. In addition, considering the results obtained and the weak role of the Internet of Things in employee training, it is suggested that future research should examine advanced technologies that have an impact on employee training.

Conflict of Interest

The authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this manuscript.

«مقاله پژوهشی»

دستیابی به عملکرد پایدار: کاربرد قابلیت اینترنت اشیاء در انجام اقدامات و فرآیندهای محیط‌زیستی در شرکت‌های کوچک و متوسط

*سید محمود زنجیرچی^۱، مهران ضیائیان^۲، هاجر سلیمانی‌زاده^۳

چکیده

علی‌رغم مزیت‌های بی‌شمار شرکت‌های کوچک و متوسط در افزایش اشتغال، افزایش تولید ملی و بهبود کیفیت زندگی جامعه، عدم تداوم عملکرد آن‌ها به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی در کشور شناخته شده است. هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی نقش قابلیت‌های اینترنت اشیاء و اقدامات محیط‌زیستی مناسب بر پایداری عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط است. جامعه آماری این پژوهش، مدیران ارشد شرکت‌های کوچک و متوسط پنج استان منتخب کشور (اصفهان، تهران، فارس، خراسان رضوی و آذربایجان شرقی) بوده که با استفاده از روش نمونه‌گیری گلوله برفی، تعداد ۴۲ نفر به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. در این پژوهش با استفاده از رویکرد دلفی فازی، معیارهای پایداری عملکرد و اقدامات محیط‌زیستی مناسب شناسایی شده از ادبیات پژوهش متناسب با شرکت‌های کوچک و متوسط پنج استان منتخب کشور بومی‌سازی شد. در ادامه با استفاده از مرحله اول ماتریس خانه کیفیت فازی، ارتباط قابلیت‌های اینترنت اشیاء در انجام اقدامات محیط‌زیستی مناسب موردبررسی قرار گرفت. نتایج این بخش نشان داد که اینترنت اشیاء بیشترین میزان تأثیر را بر انجام فرآیندهای بهینه، ارزیابی عملکرد و تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی دارد. همچنین نتایج حاصل از مرحله دوم ماتریس خانه کیفیت فازی نشان داد که انجام اقدامات محیط‌زیستی مناسب بیشترین تأثیر را بر دستیابی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی و منابع، رضایت مشتریان، کیفیت محصولات تولیدشده و میزان درآمد در شرکت‌های کوچک و متوسط دارد.

واژه‌های کلیدی

عملکرد پایدار، صنعت ۴/۰، اینترنت اشیاء، اقدامات محیط‌زیستی مناسب، شرکت‌های کوچک و متوسط.

۱. استاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲. استادیار، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و نوآوری، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران
۳. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

نویسنده مسئول:

سید محمود زنجیرچی

رایانامه: Zanjirchi@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵

استناد به این مقاله:

زنجیرچی، سید محمود ضیائیان، مهران، و سلیمانی‌زاده، هاجر. (۱۴۰۴). دستیابی به عملکرد پایدار: کاربرد قابلیت اینترنت اشیاء در انجام اقدامات و فرآیندهای محیط‌زیستی در شرکت‌های کوچک و متوسط. فصلنامه علمی آموزش محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۱۴(۲)، ۹۹-۱۱۸. (DOI: [10.30473/EE.2025.72248.2773](https://doi.org/10.30473/EE.2025.72248.2773))



مقدمه

محیط‌زیستی همچون مصرف نامناسب منابع به دلیل محدودیت‌های مالی و فنی، مدیریت نامناسب ضایعات، استفاده از مواد شیمیایی و ...، درصد بالایی از آلودگی هوا را تشکیل می‌دهند (Nawaser et al., 2023). آلودگی محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های شرکت‌های کوچک و متوسط منجر به افزایش هزینه‌ها، واکنش منفی و گسترش فشار ذینفعان و در نهایت منجر به عدم تداوم فعالیت و شکست این شرکت‌ها می‌شود (Afshar Jahanshahi et al., 2020). مطالعات مختلفی به ارائه راهکارهای مؤثر در جهت کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های شرکت‌های کوچک و متوسط و پایداری عملکرد آن‌ها پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال جعفری و همکاران^۲ (۲۰۲۱) نقش ارتباط دانشگاه با صنعت را به‌عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر عملکرد پایدار شرکت‌های کوچک و متوسط معرفی کرده‌اند (Jafari et al., 2021). همچنین آکومه و همکاران^۳ (۲۰۲۳) بر تأثیر جهت‌گیری کارآفرینی بر عملکرد پایدار تأکید کرده‌اند (Akomea et al., 2023). شناسایی عوامل ذکرشده و استفاده از رویکردهای سنتی الزاماً نمی‌تواند تضمین‌کننده پایداری شرکت‌های کوچک و متوسط باشد. یکی از مهم‌ترین دلایل عدم کارایی رویکردهای سنتی و سازگاری آن‌ها با تغییرات مداوم فناوری و نیازهای جامعه است؛ بنابراین نیاز به استفاده از رویکردهای جدیدی همچون صنعت ۴،۰ و استفاده از فناوری‌های مرتبط با آن است (Jayashree et al., 2021).

صنعت ۴،۰ به برقراری ارتباط میان دنیای فیزیکی و دیجیتال، تمرکززدایی فرآیندهای کسب‌وکار، هوشمندسازی فرآیندهای تولید محصول و ارائه خدمات با استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ای از جمله اینترنت اشیا^۴، بلاک‌چین^۵ و غیره در جهت ساده‌سازی فرآیندهای تولید، افزایش بهره‌وری و سودآوری اشاره دارد (Morovati Sharifabadi et al., 2024). یکی از مهم‌ترین فناوری‌های صنعت ۴،۰ اثرگذار بر انجام اقدامات محیط‌زیستی مناسب، اینترنت اشیا است. اینترنت اشیا به ارتباط میان دستگاه‌های محاسباتی، ماشین‌های مکانیکی و دیجیتال در بستر اینترنت بدون نیاز به دخالت انسان اشاره دارد (Mu & Antwi-Afari, 2024). فناوری اینترنت اشیا، فرآیند جمع‌آوری، بازیافت و دفع

شرکت‌های کوچک و متوسط نقش مهمی در ایجاد فرصت‌های شغلی، تقویت رقابت با رویکرد ترویج نوآوری، فرصت‌های سرمایه‌گذاری جدید و توسعه اقتصادی دارند. بر اساس تعریف ارائه‌شده از کمیسیون اروپا شرکت‌های با تعداد کمتر از ۲۵۰ نفر و حداکثر گردش مالی سالانه ۵۰ میلیون یورو، شرکت‌های کوچک و متوسط نامیده می‌شوند. آن‌ها ۶۵ درصد از مشاغل و ۵۵ درصد از تولید ناخالص داخلی را در اکثر کشورهای توسعه‌یافته به خود اختصاص داده‌اند (Yadegaridehkordi et al., 2023). در کشورهای درحال توسعه همچون ایران، سهم شرکت‌های کوچک و متوسط از تولید ناخالص داخلی برابر با ۴۰ و سهم اشتغال برابر با ۵۰ درصد است (Tajpour et al., 2023). علی‌رغم نقش مهم شرکت‌های کوچک و متوسط در ارتقاء رشد اقتصادی و نرخ اشتغال، توسعه آن‌ها در سال‌های اخیر در ایران نگران‌کننده است. اغلب آن‌ها در مدت‌زمان کوتاهی شکست‌خورده و از چرخه رقابت خارج می‌شوند. گزارش‌ها حاکی از آن است که حدود ۵۰ درصد از شرکت‌های کوچک و متوسط بیش از پنج سال زنده نمی‌مانند. عدم تداوم شرکت‌های کوچک و متوسط در ایران پیامدهای جدی و گسترده‌ای از جمله افزایش نرخ بیکاری، کاهش تنوع اقتصادی و وابستگی بیشتر به شرکت‌های بزرگ و چندملیتی، کاهش رقابت و نوآوری در بازار و ... را به همراه دارد (Sohrabi et al., 2021)؛ بنابراین تداوم و پایداری شرکت‌های کوچک و متوسط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر عدم تداوم و پایداری شرکت‌های کوچک و متوسط، عدم اقدامات محیط‌زیستی مناسب است. میزان اثرات محیطی صنعتی قابل انتساب به شرکت‌های کوچک و متوسط تقریباً ۶۴ درصد برآورد شده است. بر اساس نهادهای بین‌المللی، تأثیر محیط‌زیستی شرکت‌های کوچک و متوسط حدود ۶۰٪ تا ۷۰٪ است (Tajpour et al., 2023). دی و همکاران^۱ (۲۰۲۰) دریافتند که شرکت‌های کوچک و متوسط بیش از ۵۰ درصد از آلودگی صنعتی را در آسیا و اقیانوسیه تولید و بیش از ۱۳ درصد از انرژی جهانی را مصرف می‌کنند (De et al., 2020). آمار مربوط به آلودگی هوا و اثرات مخرب محیط‌زیستی شرکت‌های کوچک و متوسط در ایران نیز نگران‌کننده است. آن‌ها به دلیل عدم رعایت مسائل

2. Jafari et al.
3. Akomea et al.
4. Internet of Things
5. Blockchain

1. De et al.

اینترنت اشیا بر پایداری عملکرد شرکت‌های کوچک و متوسط افزایش یافته است. به‌عنوان مثال ظهراپی و همکاران^۱ (۲۰۲۰) کاربردهای اینترنت اشیا در توسعه پایدار صنعت ورزش ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند (Zohrabi et al., 2020). علاوه بر این سوسیو و همکاران^۲ (۲۰۲۱) فناوری اینترنت اشیا را به‌عنوان ابزاری برای نوآوری و رشد پایدار شرکت‌های کوچک و متوسط معرفی کرده‌اند (Suciu et al., 2021).

در اکثر مطالعات انجام‌شده، صرفاً تأثیر صنعت ۴،۰ و فناوری‌های مرتبط با آن بر پایداری عملکرد مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عبارتی دیگر در این مطالعات تصویر روشن و واضحی از چگونگی نقش اینترنت اشیا بر پایداری عملکرد وجود ندارد. این موضوع می‌تواند تمایل مدیران و تصمیم‌گیرندگان به استفاده از اینترنت اشیا را تحت تأثیر خود قرار داده و در نهایت با ادامه روند میزان آلودگی، شکست شرکت‌های کوچک و متوسط را به همراه داشته باشد؛ بنابراین هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی قابلیت‌های فناوری اینترنت اشیا بر رفع چالش‌های محیط‌زیستی و دستیابی به پایداری عملکرد در شرکت‌های کوچک و متوسط است. در این راستا بر اساس مطالعات صورت گرفته، مهم‌ترین معیارهای عملکرد پایدار به‌صورت جدول ۱ نشان داده شده است.

1. Zohrabi et al
2. Suciu et al.

پسماندها را مدیریت کرده و میزان آلودگی ناشی از فعالیت شرکت‌ها و صنایع مختلف را به حداقل می‌رساند (Nizetić et al., 2020).

اینترنت اشیا نقش بسزایی در ارتقاء اقدامات محیط‌زیستی ایفا می‌کند. اینترنت اشیا از طریق حسگرهای هوشمند و شبکه‌های ارتباطی پیشرفته، امکان پایش دقیق و لحظه‌ای منابع طبیعی مانند آب، هوا و خاک را فراهم می‌آورد و به شناسایی آلودگی‌ها و تخریب‌های محیط‌زیستی در مراحل اولیه کمک می‌کند (Pamula et al., 2022). اینترنت اشیا با استفاده از حسگرها و دستگاه‌های متصل، مصرف انرژی خود را بهینه کرده و ردپای کربن را کاهش می‌دهد. مدیریت هوشمند روشنایی و تهویه، پایش دقیق مصرف انرژی تجهیزات و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید از طریق جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها از جمله کاربردهای کلیدی اینترنت اشیا هستند. همچنین، اینترنت اشیا با استفاده از دستگاه‌های ردیابی و نرم‌افزارهای مدیریت ناوگان، مسیرهای بهینه را برای رانندگان تعیین کرده و مصرف سوخت را در بخش حمل‌ونقل شرکت‌های مختلف کاهش می‌دهند. در نهایت، اینترنت اشیا با ایجاد شبکه‌های ارتباطی میان دستگاه‌ها و افراد، امکان مشارکت گسترده‌تر جامعه در اقدامات محیط‌زیستی را فراهم آورده که این موضوع منجر به ترویج فرهنگ حفاظت از محیط‌زیست می‌شود.

در یک دهه گذشته، تمرکز محققان بر استفاده از فناوری

جدول ۱. معیارهای عملکرد پایدار

Table 1. Sustainable Performance Criteria

منبع Reference	معیارهای عملکرد پایدار Sustainable performance criteria	منبع Reference	معیارهای عملکرد پایدار Sustainable performance criteria
(Karaşan et al., 2024)	۶. استفاده از مواد بازیافتی 6. Use of recycled materials	(Hussain et al., 2018)	۱. سهم بازار 1. Market share
(Habidin et al., 2013)	۷. کیفیت محصولات 7. Quality of the products	(Hussain et al., 2018)	۲. درآمد 2. Income
(Rajendran & Gambatese, 2009)	۸. سلامت و امنیت کارکنان 8. Employee health & safety	(Iwano et al., 2014)	۳. مصرف انرژی و منابع Energy and resource consumption
(Abdelhamied et al., 2023)	۹. رضایت کارکنان 9. Employee satisfaction	(Karaşan et al., 2024)	۴. انتشار گازهای گلخانه‌ای 4. Greenhouse gas emissions
(Rajendran & Gambatese, 2009)	۱۰. رضایت مشتریان 10. Customer satisfaction	(Karaşan et al., 2024)	۵. ضایعات تولیدشده 5. Waste produced

همچنین در جدول ۲ مهم‌ترین اقدامات محیط‌زیستی مناسب شناسایی شده است.

جدول ۲. اقدامات محیط‌زیستی مناسب

Table 2. Appropriate Environmental Actions

منابع Reference	شرح Description	اقدامات محیط‌زیستی مناسب Appropriate environmental actions
(Ahmad et al., 2021)	انجام فرآیندهای بهینه به برنامه‌ریزی دقیق تولید و کاهش زمان تولید محصول، بهینه‌سازی موجودی محصول، اجتناب از فعالیت‌های زائد کارکنان در محیط کار، استفاده بهینه از مواد شیمیایی و ... اشاره دارد. Performing optimal processes refers to precise production planning and reducing product production time, optimizing product inventory, avoiding unnecessary employee activities in the workplace, optimal use of chemicals, etc.	انجام فرآیندهای بهینه Performing optimal processes
(Domingo & Aguado, 2015)	کارایی تجهیزات به توانایی تجهیزات و ماشین‌آلات برای انجام وظایف خود با بهترین بهره‌وری و کارایی و حداقل مصرف انرژی اشاره دارد. Equipment efficiency refers to the ability of equipment and machinery to perform their tasks with the best productivity and efficiency and minimum energy consumption.	کارایی تجهیزات Equipment efficiency
(Shahzad et al., 2023)	آموزش کارکنان به فرایند ارتقاء آگاهی و دانش کارکنان در زمینه حفاظت از محیط‌زیست شامل آموزش‌های مرتبط با کاهش آلودگی هوا و آب، مدیریت پسماندها و غیره اشاره دارد. Employee environmental training refers to the process of improving employees' awareness and knowledge in the field of environmental protection, including training related to reducing air and water pollution, waste management, etc.	آموزش کارکنان Employee training
(Haque & Ntim, 2018)	مدیریت ضایعات به فرآیند برنامه‌ریزی، جمع‌آوری، پردازش، بازیافت و دفع بهینه ضایعات و پسماندها اشاره دارد. Waste management refers to the process of planning, collecting, processing, recycling, and optimally disposing of waste and residues.	مدیریت ضایعات Waste management
(Haque & Ntim, 2018)	تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی به تعهد و احترام نسبت به قوانین و مقررات مربوط به حفاظت از محیط‌زیست تدوین شده از سوی دولت، شرکت‌ها و استانداردهای بین‌المللی اشاره دارد. Commitment to environmental standards refers to commitment and respect for laws and regulations related to environmental protection developed by the government, companies, and international standards.	تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی Commitment to environmental standards
(Ahmad et al., 2021)	ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی به تحلیل عملکرد و اثرات محیط‌زیستی فعالیت‌های یک سازمان اشاره دارد. Environmental performance assessment refers to the analysis of the performance and environmental impacts of an organization's activities.	ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی Environmental performance assessment
(Bakioglu, 2024)	انتخاب مسیرهای بهینه در حمل‌ونقل به انتخاب روش‌ها، مسیرها و وسایل حمل‌ونقل که کمترین تأثیرات منفی بر محیط‌زیست داشته باشند، اشاره دارد. Choosing optimal transportation routes refers to choosing methods, routes, and means of transportation that have the least	انتخاب مسیرهای بهینه در حمل‌ونقل Choosing optimal transportation routes

منابع Reference	شرح Description	اقدامات محیط‌زیستی مناسب Appropriate environmental actions
	negative impact on the environment.	
(Mancini et al., 2019)	استفاده از مواد اولیه مناسب به استفاده از موادی که کاربرد آن‌ها در تولید محصولات باعث کاهش تأثیرات منفی بر محیط‌زیست می‌شود، اشاره دارد. Using appropriate raw materials refers to using materials whose use in the production of products reduces negative impacts on the environment.	استفاده از مواد اولیه مناسب Using appropriate raw materials

در نهایت بر اساس مطالعات صورت گرفته در جدول ۳ مناسب نشان داده شده است. قابلیت‌های اینترنت اشیا در جهت اجرای اقدامات محیط‌زیستی

جدول ۳. قابلیت‌های اینترنت اشیا
Table 3. IoT Capabilities

منابع Reference	شرح Rate	قابلیت‌های اینترنت اشیا Internet of Things capabilities
(Turcu et al., 2018)	از طریق اتصال دستگاه‌ها و سنسورها به شبکه اینترنت، اینترنت اشیا قادر است تا داده‌های مربوط به تولید، کیفیت، عملکرد، حمل‌ونقل و مصرف انرژی را در زمان واقعی جمع‌آوری کرده و به بخش‌های مربوطه ارسال نماید. By connecting devices and sensors to the Internet network, the Internet of Things is able to collect data related to production, quality, performance, transportation, and energy consumption in real time and send it to the relevant departments.	نظارت و کنترل Monitoring and control
(Turcu et al., 2018)	سنسورهای اینترنت اشیا می‌توانند اطلاعات مربوط به دما، فشار و سایر پارامترهای محیطی را به‌طور مداوم نظارت کند. در صورتی که این داده‌ها نشان‌دهنده وقوع یک حادثه یا اتفاق ناگوار باشند، سیستم‌های اینترنت اشیا به‌صورت خودکار اقدامات لازم را به‌صورت اتوماتیک فعال می‌کنند. IoT sensors can continuously monitor information about temperature, pressure, and other environmental parameters. If this data indicates an incident or a disaster, IoT systems can automatically activate the necessary actions.	پیشگیری از حوادث و اتفاقات ناگوار Prevention of accidents and incidents
(Cao, Jia, & Manogaran, 2019)	با جمع‌آوری داده‌های دقیق از فرآیندهای تولید، موجودی‌ها، عملکرد دستگاه‌ها و سایر عوامل مرتبط، سیستم‌های اینترنت اشیا قادرند پیش‌بینی مناسبی از مواد اولیه، نیروی کار، تجهیزات و سایر منابع موردنیاز را برای تولید محصولات خود ارائه کنند. By collecting accurate data from production processes, inventories, device performance, and other relevant factors, IoT systems are able to provide accurate forecasts of raw materials, labor, equipment, and other resources needed to produce their products.	پیش‌بینی نیازهای تولید Forecasting production needs
(Cao et al., 2019)	با استفاده از سنسورها و دستگاه‌های متصل به اینترنت به وسایل حمل‌ونقل، انبارها و محل ورود مواد اولیه به خط تولید، شرکت‌ها می‌توانند مسیر حرکت	ردیابی مواد اولیه Traceability of raw materials

منابع Reference	شرح Rate	قابلیت‌های اینترنت اشیا Internet of Things capabilities
	مواد اولیه از زمان ورود به واحد تولید تا استفاده نهایی را پیگیری کنند. By using sensors and internet-connected devices in transportation vehicles, warehouses, and where raw materials enter the production line, companies can track the movement of raw materials from the time they enter the production unit to their final use.	
(Vermesan & Friess, 2014)	اینترنت اشیا با امکان اتصال و ارتباط میان دستگاه‌ها، سنسورها و سیستم‌های مختلف داخل یک سازمان و یا به صورت ارتباطات بی‌سیم در خارج از سازمان، امکان ارسال داده‌ها به سیستم‌های ابری و پردازش آن‌ها را فراهم می‌کند. The Internet of Things enables the connection and communication between various devices, sensors, and systems within an organization or through wireless communications outside the organization, allowing data to be sent to cloud systems and processed.	تقویت تبادل اطلاعات در داخل و بین سازمان‌ها Strengthening information exchange within and between organizations
(Mohammed, 2014)	اینترنت اشیا به شرکت‌ها این امکان را می‌دهد که وضعیت و عملکرد تجهیزات را به طور مستمر نظارت و در صورت شناسایی هرگونه مشکل یا نقص، اقدامات تعمیراتی یا نگهداری پیشگیرانه اتخاذ می‌شود. IoT allows companies to continuously monitor the status and performance of equipment and take preventive maintenance or repair actions if any problems or defects are identified.	تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه Preventive maintenance and repairs

گام سوم: دلفی فازی

رویکرد دلفی فازی می‌تواند به صورت یک مرحله‌ای و چندمرحله‌ای انجام شود. در صورتی که محققان به دنبال اضافه کردن متغیرها و عوامل مورد بررسی نباشند، از رویکرد دلفی فازی یک مرحله‌ای استفاده می‌شود. اگر محققان به دنبال اضافه کردن متغیرهای جدید توسط خبرگان باشند، از رویکرد دلفی فازی چندمرحله‌ای استفاده می‌شود. این رویکرد تا جایی ادامه پیدا خواهد کرد که عاملی از حد آستانه پایین‌تر نباشد. همچنین در راستای مقایسه نظرات خبرگان، در صورتی که اختلاف مقدار فازی‌زدایی شده نظرات آن‌ها برای هر عامل کمتر از ۰/۱ در دور جدید نسبت به دور قبل بود، آن عامل مورد تأیید است (Ahmad et al., 2024). در پژوهش حاضر به دلیل خواست محققین از خبرگان در راستای اضافه کردن معیارهای پایداری عملکرد و یا اقدامات محیط‌زیستی مناسب به صورت یک سؤال باز در پرسشنامه از رویکرد چندمرحله‌ای استفاده شده است. مراحل اجرای رویکرد دلفی فازی به شرح زیر بیان شده است (Bahrami et al., 2023, Petrucci et al., 2022):

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی است چراکه از نتایج آن می‌توان در شرکت‌های کوچک و متوسط استفاده کرد. همچنین این پژوهش از نظر ماهیت و روش، توصیفی-علی و از لحاظ گردآوری داده‌ها، پیمایشی است. مراحل اجرای این پژوهش به صورت زیر شرح داده شده است.

گام اول: مطالعه ادبیات و پیشینه پژوهش

در گام اول با استفاده از مرور ادبیات و پیشینه پژوهش، قابلیت‌های اینترنت اشیا، معیارهای پایداری عملکرد و اقدامات محیط‌زیستی مناسب شناسایی شد.

گام دوم: جامعه آماری و انتخاب نمونه

جامعه آماری این پژوهش مدیران ارشد شرکت‌های کوچک و متوسط پنج استان با بیشترین تعداد شرکت‌های کوچک و متوسط و فعال‌ترین استان‌های کشور در این حوزه شامل تهران، اصفهان، فارس، خراسان رضوی و آذربایجان شرقی است. بر اساس روش نمونه‌گیری گلوله برفی تعداد ۴۲ نفر از مدیران ارشد شرکت‌های کوچک و متوسط پنج استان منتخب به عنوان نمونه انتخاب شدند.

مرحله اول: جمع‌آوری نظر خبرگان

نظرات خبرگان بر اساس متغیرهای زبانی (جدول ۴)

جمع‌آوری شده است.

جدول ۴. اصطلاحات کلامی و اعداد فازی مثلثی متناظر (Ahmad et al., 2024)

Table 4. Verbal Terms and Corresponding Triangular Fuzzy Numbers (Ahmad et al., 2024)

اعداد فازی متناظر Corresponding fuzzy numbers	متغیرهای کلامی Verbal variables	ردیف Row
(0.7,0.9,1)	بسیار پراهمیت Very important	1
(0.5,0.7,0.9)	پراهمیت Important	2
(0.3,0.5,0.7)	متوسط Medium	3
(0.1,0.3,0.5)	کم‌اهمیت Unimportant	4
(0,0.1,0.3)	بسیار کم‌اهمیت Very unimportant	5

حد آستانه

در این مرحله بر اساس تعیین حد آستانه، عوامل تأیید یا رد می‌شوند. یکی از روش‌هایی تعیین حد آستانه نظرخواهی از خبرگان است (Ahmad et al., 2024) که در این پژوهش مقدار ۰/۶ برای تعیین حد آستانه در نظر گرفته شده است.

گام چهارم: ماتریس خانه کیفیت فازی

ماتریس خانه کیفیت برای تبدیل نیازهای مشتری به مشخصات فنی استفاده می‌شود. ماتریس خانه کیفیت صدای مشتری (چراها) را به الزامات طراحی (چگونه) ترجمه می‌کند. ماتریس خانه کیفیت فازی نسبت به ماتریس خانه کیفیت سنتی برتری دارد چراکه فضای ابهام در نظرات خبرگان را در نظر گرفته و نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد (Abbaszadeh et al., 2023). در این پژوهش از ماتریس خانه کیفیت فازی دومرحله‌ای استفاده شده که مراحل اجرای آن به صورت زیر ارائه شده است (Reda & Dvivedi, 2022).

مرحله اول: تعیین خواسته‌ها و نیازهای مشتریان و الزامات فنی و مهندسی

در مرحله اول خواسته‌ها و نیازهای مشتریان و الزامات فنی و مهندسی شناسایی شده و در سطرهای ماتریس خانه کیفیت قرار داده می‌شود. در این پژوهش، در مرحله اول ماتریس خانه کیفیت، قابلیت‌های اینترنت اشیا، خواسته‌ها و نیازهای مشتریان و اقدامات محیط‌زیستی همان الزامات فنی و مهندسی هستند. در مرحله دوم ماتریس خانه کیفیت اقدامات

مرحله دوم: محاسبه ارزش فازی هر سؤال

پس از جمع‌آوری نظر خبرگان، ماتریس نظرات مختلف خبرگان به یک ماتریس اجماع شده تبدیل می‌شود. شایان ذکر است که ارزش فازی هر سؤال به صورت $X^e = (L_j, M_j, U_j)$ نمایش داده شده که L_j حد پایین، M_j حد متوسط و U_j حد بالا است. X_{ij} نیز مقدار تخصیص داده شده توسط خبرگان بر اساس روابط زیر ماتریس اجماع شده نظر خبرگان تشکیل می‌شود:

رابطه (۱)

$$L_j = \text{Min}(x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

رابطه (۲)

$$M_j = \left(\prod_{i=1}^{n,m} x_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

رابطه (۳)

$$U_j = \text{Max}(x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m$$

مرحله سوم: فازی‌زدایی

در پژوهش‌های مختلف صورت گرفته، روابط متعددی به منظور فازی‌زدایی اعداد فازی استفاده شده است. در این پژوهش از رابطه ۴ به منظور فازی‌زدایی بهره گرفته شده است.

$$S_j = \frac{L_j + 2M_j + U_j}{4}$$

مرحله چهارم: ارزیابی عوامل یا سؤالات بر اساس

متعلق به ماهیت فناوری اینترنت اشیا بوده و تعیین میزان اهمیت برای آن‌ها معنادار نیست.

مرحله دوم: تعیین میزان ارتباط نیازهای مشتریان و الزامات فنی و مهندسی

در مرحله دوم رابطه i امین نیاز و j امین خدمت تعیین و با Rij نشان داده می‌شود. بدین منظور از متغیرهای زبانی فازی به صورت جدول ۵ استفاده شده است.

محیط‌زیستی مناسب به‌عنوان الزامات و نیازهای مشتریان و معیارهای پایداری عملکرد به‌عنوان الزامات فنی و مهندسی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این در مرحله دوم ماتریس خانه کیفیت، برای هر یک از اقدامات محیط‌زیستی مناسب، وزن و میزان اهمیت در نظر گرفته شده که این مقدار از مرحله اول ماتریس خانه کیفیت به‌دست آمده است. شایان ذکر است که در مرحله اول برای قابلیت‌های اینترنت اشیا، میزان اهمیت و وزن‌دهی در نظر گرفته نشده است. قابلیت‌های اینترنت اشیا

جدول ۵. متغیرهای زبانی (Reda & Dvivedi, 2022)

Table 5. Linguistic Variables (Reda & Dvivedi, 2022)

نماد Symbol	اعداد فازی متناظر Corresponding fuzzy numbers	متغیرهای کلامی Verbal variables	ردیف Row
\triangle	(0.7,1,1)	رابطه قوی Strong relationship	1
\circ	(0.3,0.5,0.7)	رابطه متوسط Medium relationship	2
\square	(0,0,0.3)	رابطه ضعیف Weak relationship	3

الزامات فنی و مهندسی

در مرحله سوم همبستگی میان الزامات فنی و مهندسی در سقف ماتریس خانه کیفیت تعیین می‌شود. در مرحله اول ماتریس خانه کیفیت، الزامات فنی و مهندسی همان اقدامات محیط‌زیستی مناسب است؛ در مرحله دوم ماتریس خانه کیفیت، الزامات فنی و مهندسی همان معیارهای پایداری عملکرد هستند. ارتباط میان الزامات فنی و مهندسی از طریق جدول ۶ مشخص خواهد شد.

با توجه به جدول ۵ از هر یک از خبرگان خواسته شده تا ارتباط میان قابلیت‌های اینترنت اشیا و اقدامات محیط‌زیستی مناسب را در مرحله اول ماتریس خانه کیفیت و ارتباط میان اقدامات محیط‌زیستی مناسب و معیارهای پایداری عملکرد را در مرحله دوم ماتریس خانه کیفیت شناسایی کنند. به‌منظور یکپارچه‌سازی نظرات خبرگان و با توجه به استفاده از اعداد فازی مثلثی از میانگین هندسی استفاده شده است.

مرحله سوم: تعیین میزان ارتباط و همبستگی میان

جدول ۶. متغیرهای زبانی همبستگی الزامات فنی و مهندسی (Reda & Dvivedi, 2022)

Table 6. Linguistic Variables of Correlation of Technical and Engineering Requirements (Reda & Dvivedi, 2022)

نماد Symbol	اعداد فازی متناظر Corresponding fuzzy numbers	متغیرهای کلامی Verbal variables	ردیف Row
\oplus	(0.3,0.5,0.7)	همبستگی خیلی مثبت Very positive correlation	1
\oplus	(0,0.3,0.5)	همبستگی مثبت Positive correlation	2
\ominus	(-0.5,-0.3,0)	همبستگی منفی Negative correlation	3
\ominus	(-0.7,-0.5,-0.3)	همبستگی خیلی منفی Very negative correlation	4

مرحله چهارم: تعیین میزان اهمیت الزامات فنی و مهندسی

در مرحله چهارم میزان اهمیت الزامات فنی و مهندسی که در مرحله اول ماتریس خانه کیفیت (اقدامات محیط‌زیستی مناسب) و در مرحله دوم (معیارهای پایداری عملکرد) هستند، تعیین می‌شود. این مقدار با RI_j نشان داده شده و از رابطه ۵ به دست می‌آید.
رابطه (۵)

$$RI_j = \sum_{i=1}^m W_i \otimes RI_{ij} \quad j = 1, \dots, n$$

پس از تعیین میزان اهمیت الزامات فنی و مهندسی، می‌بایست وزن نهایی (RI_j^*) آن‌ها را محاسبه کرد. برای تعیین وزن نهایی الزامات فنی و مهندسی در هر مرحله از ماتریس خانه کیفیت از رابطه ۶ استفاده شده است.
رابطه (۶)

$$RI_j^* = RI_j \oplus \sum_{j \neq j'} T_{jj'} \otimes RI_{j'} \quad j = 1, \dots, n$$

در رابطه ۶، $T_{jj'}$ همبستگی الزام فنی و مهندسی j با الزام فنی و مهندسی j' است.

مرحله پنجم: فازی‌زدایی

به منظور فازی‌زدایی وزن‌های نهایی به دست آمده از رابطه ۷ استفاده شده است.
رابطه (۷)

$$\text{crispvalue} = \frac{L+2M+U}{4}$$

یافته‌های پژوهش

در این بخش ابتدا بر اساس رویکرد دلفی فازی، معیارهای نهایی پایداری عملکرد و اقدامات محیط‌زیستی مناسب در شرکت‌های کوچک و متوسط مشخص شده است. با استفاده از میانگین حسابی ماتریس اجتماع نظرات خبرگان به صورت جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷. مرحله اول رویکرد دلفی فازی

Table 7. First Stage of the Fuzzy Delphi Approach

نتیجه Result	مقدار فازی‌زدایی شده Defuzzified value	حد بالا (U)	حد متوسط (M)	حد پایین (L)	عوامل Factors
معیارهای پایداری عملکرد Performance sustainability criteria					
تأیید Confirmation	0.875	1	0.9	0.7	سهم بازار Market share
تأیید Confirmation	0.875	1	0.9	0.7	درآمد Income
تأیید Confirmation	0.875	1	0.9	0.7	مصرف انرژی و منابع Energy and resource consumption
تأیید Confirmation	0.875	1	0.9	0.7	انتشار گازهای گلخانه‌ای Greenhouse gas emissions
تأیید Confirmation	0.797	1	0.845	0.5	ضایعات تولیدشده Waste produced
تأیید Confirmation	0.759	1	0.769	0.5	استفاده از مواد بازیافتی Use of recycled materials
تأیید Confirmation	0.797	1	0.845	0.5	کیفیت محصولات Quality of the products
تأیید Confirmation	0.797	1	0.845	0.5	سلامت و امنیت کارکنان Employee health and safety
تأیید Confirmation	0.811	1	0.872	0.5	رضایت کارکنان

نتیجه Result	مقدار فازی زدایی شده Defuzzified value	حد بالا (U)	حد متوسط (M)	حد پایین (L)	عوامل Factors
تأیید Confirmation	0.811	1	0.872	0.5	رضایت مشتریان Customer satisfaction
اقدامات محیط‌زیستی مناسب Appropriate environmental actions					
تأیید Confirmation	0.747	1	0.745	0.5	انجام فرآیندهای بهینه Performing optimal processes
تأیید Confirmation	0.771	1	0.793	0.5	کارایی تجهیزات Equipment efficiency
تأیید Confirmation	0.811	1	0.872	0.5	آموزش کارکنان Employee training
تأیید Confirmation	0.797	1	0.845	0.5	مدیریت ضایعات Waste management
تأیید Confirmation	0.875	1	0.9	0.7	تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی Commitment to environmental standards
تأیید Confirmation	0.759	1	0.769	0.5	ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی Environmental performance assessment
تأیید Confirmation	0.875	1	0.9	0.7	انتخاب مسیرهای بهینه در حمل و نقل Choosing optimal transportation routes
تأیید Confirmation	0.811	1	0.872	0.5	استفاده از مواد اولیه مناسب Using appropriate raw materials

معیارهای پایداری عملکرد توسط خبرگان معرفی شدند؛ بنابراین پرسشنامه مرتبط با پایداری عملکرد در مرحله دوم رویکرد دلفی فازی در اختیار خبرگان قرار گرفت که نتایج آن به صورت جدول ۸ نشان داده شده است. شایان ذکر است که به دلیل تأیید تمامی اقدامات محیط‌زیستی مناسب، رویکرد دلفی فازی برای این متغیر به پایان رسیده است.

با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۷، تمامی عوامل به دلیل مقدار فازی زدایی شده بالاتر از حد آستانه (۰/۶) مورد تأیید قرار گرفتند. علاوه بر این با توجه به خواست نویسندگان پژوهش از خبرگان مرتبط با اضافه کردن معیارهای پایداری عملکرد و اقدامات محیط‌زیستی مناسب، معیار گردش مالی، فرصت شغلی جدید و سلامت و امنیت مشتریان به عنوان

جدول ۸. دور دوم رویکرد دلفی فازی برای شناسایی معیارهای نهایی پایداری عملکرد

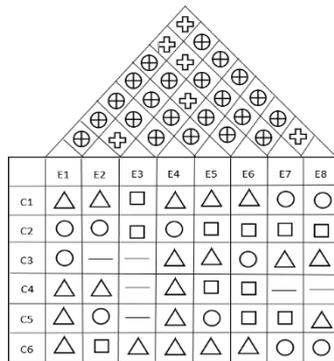
Table 8. The Second Round of the Fuzzy Delphi Approach to Identify the Final Performance Sustainability Criteria

نتیجه Result	اختلاف دو مرحله The difference between the two stages	مقدار فازی زدایی شده مرحله اول Defuzzified value of the first stage	مقدار فازی زدایی شده مرحله دوم Defuzzified value of the second stage	حد بالا (U)	حد متوسط (M)	حد پایین (L)	معیارهای پایداری عملکرد Performance sustainability criteria
تأیید Confirmation	0	0.875	0.875	1	0.9	0.7	سهم بازار Market share
تأیید Confirmation	0	0.875	0.875	1	0.9	0.7	درآمد

نتیجه Result	اختلاف دو مرحله The difference between the two stages	مقدار فازی زدایی شده مرحله اول Defuzzified value of the first stage	مقدار فازی زدایی شده مرحله دوم Defuzzified value of the second stage	حد بالا (U)	حد متوسط (M)	حد پایین (L)	معیارهای پایداری عملکرد Performance sustainability criteria
Confirmation							Income
تأیید Confirmation	0	0.875	0.875	1	0.9	0.7	مصرف انرژی و منابع Energy and resource consumption
تأیید Confirmation	0	0.875	0.875	1	0.9	0.7	انتشار گازهای گلخانه‌ای Greenhouse gas emissions
تأیید Confirmation	0	0.797	0.797	1	0.845	0.5	ضایعات تولیدشده Waste produced
تأیید Confirmation	0.051	0.759	0.811	1	0.872	0.5	استفاده از مواد بازیافتی Use of recycled materials
تأیید Confirmation	0.077	0.797	0.875	1	0.9	0.7	کیفیت محصولات Quality of the products
تأیید Confirmation	0.013	0.797	0.811	1	0.872	0.5	سلامت و امنیت کارکنان Employee health and safety
تأیید Confirmation	0	0.811	0.811	1	0.872	0.5	رضایت کارکنان Employee satisfaction
تأیید Confirmation	0	0.811	0.811	1	0.872	0.5	رضایت مشتریان Customer satisfaction
تأیید Confirmation	-	-	0.875	1	0.9	0.7	گردش مالی Turnover
تأیید Confirmation	-	-	0.771	1	0.793	0.5	فرصت شغلی جدید New job opportunity
تأیید Confirmation	-	-	0.797	1	0.845	0.5	سلامت و امنیت مشتریان Customer health and safety

پرداخته شده است. در شکل ۱ مرحله اول ماتریس تکمیل شده خانه کیفیت توسط یکی از خبرگان پژوهش نشان داده شده است.

با توجه به تأیید تمامی عامل و اختلاف کمتر از ۰/۱ بین دو مرحله رویکرد دلفی فازی، رویکرد دلفی فازی در مرحله دوم برای معیارهای پایداری عملکرد به پایان رسیده است. در ادامه به نتایج حاصل از رویکرد ماتریس خانه کیفیت فازی



شکل ۱. نمونه پرشده از مرحله اول ماتریس خانه کیفیت توسط یکی از خبرگان پژوهش

Figure 1. Sample Filled out from the First Stage of the Quality House Matrix by One of the Research Experts

محیط‌زیستی، ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی، انتخاب مسیر بهینه حمل‌ونقل و استفاده از مواد اولیه مناسب است. پس از نظرخواهی از تمامی خبرگان پژوهش و تشکیل ماتریس اجماع بر اساس میانگین حسابی، در جدول ۹ نتایج به‌دست‌آمده از مرحله اول ماتریس خانه کیفیت فازی نشان داده شده است.

در شکل ۱، C1 الی C6 به ترتیب بیانگر نظارت و کنترل، پیشگیری از حوادث و اتفاقات ناگوار، ردیابی مواد اولیه، تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه، پیش‌بینی نیازهای تولید و تبادل اطلاعات در داخل و خارج از سازمان است. همچنین E1 الی E8 شامل انجام فرآیندهای بهینه، کارایی تجهیزات، آموزش کارکنان، مدیریت ضایعات، تعهد به استانداردهای

جدول ۹. مرحله اول ماتریس خانه کیفیت فازی

Table 9. First Stage of the Fuzzy House of Quality Matrix

ردیف Row	اقدامات محیط‌زیستی مناسب Appropriate environmental actions	RI	RI*	RI* نرمالیزه (W) Normalized RI* (W)
1	انجام فرآیندهای بهینه Performing optimal processes	4.7	17.01	0.1296
2	ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی Environmental performance assessment	3.42	16.92	0.1290
3	تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی Commitment to environmental standards	4.43	16.91	0.1289
4	کارایی تجهیزات Equipment efficiency	4.11	16.73	0.1275
5	مدیریت ضایعات Waste management	4.91	16.64	0.1268
6	استفاده از مواد اولیه مناسب Using appropriate raw materials	3.74	16.59	0.1264
7	انتخاب مسیر بهینه حمل‌ونقل Choosing optimal transportation routes	3.76	15.97	0.1217
8	آموزش کارکنان Employee training	1.99	14.38	0.1096

و نقش برجسته اینترنت اشیاء در آن، این معیار در رتبه هفتم قرار گرفته است. این موضوع ناشی از همبستگی پایین انتخاب مسیر بهینه حمل‌ونقل با سایر اقدامات محیط‌زیستی مناسب شناسایی شده در پژوهش است. علاوه بر این آموزش کارکنان

با توجه به مقادیر نشان داده شده در جدول ۹، سه اقدام انجام فرآیندهای بهینه، ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی و تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی در رتبه اول تا سوم قرار دارند. علی‌رغم مقدار RI مناسب برای انتخاب مسیر بهینه حمل‌ونقل

در رتبه هشتم قرار گرفته است. با توجه به مقدار RI پایین آموزش کارکنان، اینترنت اشیا نقش برجسته‌ای در حوزه آموزش کارکنان ندارد.

جدول ۱۰. مرحله دوم ماتریس خانه کیفیت فازی

Table 10. Second Stage of Fuzzy House of Quality Matrix

ردیف	معیارهای پایداری عملکرد	RI	RI*	RI* نرمالیزه (W)
Row	Performance sustainability criteria	RI	RI*	Normalized RI* (W)
1	انتشار گازهای گلخانه‌ای Greenhouse gas emissions	0.925	5.8021	0.08143
2	مصرف انرژی و منابع Energy and resource consumption	0.925	5.8015	0.08142
3	رضایت مشتریان Customer satisfaction	0.892	5.7412	0.08057
4	کیفیت محصولات تولیدشده Quality of manufactured products	0.840	5.7283	0.08039
5	درآمد Income	0.919	5.7014	0.8001
6	گردش مالی Turnover	0.772	5.6552	0.07937
7	ضایعات تولیدشده Waste produced	0.879	5.5815	0.07833
8	رضایت کارکنان Employee satisfaction	0.844	5.5162	0.07741
9	سلامت و امنیت کارکنان Employee health and safety	0.872	5.4239	0.07612
10	استفاده از مواد بازیافتی Use of recycled materials	0.689	5.4122	0.07595
11	سلامت و امنیت مشتریان Customer health and safety	0.911	5.3794	0.07549
12	سهم بازار Market share	0.724	5.1998	0.07297
13	فرصت شغلی جدید New job opportunity	0.302	4.3087	0.06047

دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

علی‌رغم اهمیت شرکت‌های کوچک و متوسط در ایران در زمینه‌هایی همچون اشتغال‌زایی، افزایش تولید ملی و ...، یکی از معضلات اساسی شرکت‌های کوچک و متوسط، مصرف انرژی بالا و میزان آلودگی محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های آنها است. این موضوع عملکرد پایدار شرکت‌های کوچک و متوسط را تحت تأثیر خود قرار داده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی قابلیت‌های اینترنت اشیا در پایداری عملکرد

با توجه به نتایج جدول ۱۰، پنج معیار انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی و منابع، رضایت مشتریان، کیفیت محصولات تولیدشده و میزان درآمد در رتبه اول تا پنجم قرار دارند. علاوه بر این تأثیر اقدامات محیط‌زیستی مناسب بر متغیرهایی از جمله فرصت‌های شغلی جدید، سهم بازار و سلامت و امنیت مشتریان نسبت به سایر معیارهای پایداری عملکرد قابل توجه نیست. به‌عنوان مثال علی‌رغم مقدار RI بالای به‌دست‌آمده برای سلامت و امنیت مشتریان، مقدار RI* قابل توجه نیست. این موضوع نشان از همبستگی پایین معیار سلامت و امنیت مشتریان با سایر معیارهای پایداری عملکرد

جلوگیری شده و نیاز به بسته‌بندی بیشتر و غیرضروری محصولات و مواد اولیه و تولید زباله و ضایعات کاهش یابد. شرکت‌های کوچک و متوسط می‌توانند از طریق استفاده از سنسورها و دستگاه‌های متصل به اینترنت، ارزیابی مناسبی از عملکرد محیط‌زیستی واحدها و دستگاه‌های مختلف بر اساس تحلیل الگوهای مصرف انرژی داشته باشند. علاوه بر این اینترنت اشیاء می‌تواند با استفاده از سنسورهای متصل به دستگاه‌ها، روند رعایت تعهد به استانداردهای تدوین‌شده محیط‌زیستی را تحت کنترل قرار دهند. نتایج این بخش با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه ورما و پراکاش^۱ (۲۰۲۰) همسو و سازگار است (Verma & Prakash, 2020).

نتایج به‌دست‌آمده از مرحله دوم ماتریس خانه کیفیت نشان داد که با انجام اقدامات مناسب محیط‌زیستی دستیابی به معیارهای عملکرد پایدار در شرکت‌های کوچک و متوسط پنج استان منتخب کشور امکان‌پذیر است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از مرحله دوم ماتریس خانه کیفیت نشان داد که پنج معیار عملکرد پایدار شامل انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی و منابع، رضایت مشتریان، کیفیت و میزان درآمد در رتبه اول تا پنجم قرار دارند. این موضوع نشان‌دهنده این است که انجام اقدامات محیط‌زیستی مناسب نقش برجسته‌ای در محقق ساختن پنج معیار نام‌برده شده نسبت به سایر معیارهای پایداری عملکرد شناسایی شده دارد. گویان و همکاران^۲ (۲۰۲۳) در مطالعه خود نشان دادند که با انجام اقدامات محیط‌زیستی مناسب شامل انتخاب مسیرهای بهینه در حمل‌ونقل مواد اولیه و محصولات، انجام فرآیندهای بهینه و ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی می‌توان زمینه کاهش تولید پسماندها و افزایش بازیافت مواد، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و صرفه‌جویی در هزینه‌ها را فراهم کرد (Guoyan et al., 2022) که با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش همسو است. علاوه بر این دومینگو و آگوادو^۳ (۲۰۱۵) در مطالعه خود بیان کردند که با به‌کارگیری تجهیزات کارآمد و بهینه، مصرف انرژی شرکت‌ها قابل کاهش است (Domingo & Aguado, 2015). با توجه به شناسایی قابلیت‌های اینترنت اشیاء در انجام اقدامات محیط‌زیستی مناسب و پایداری عملکرد پیشنهاد می‌شود که با برآورد میزان هزینه و بررسی عوامل

شرکت‌های کوچک و متوسط از طریق انجام اقدامات محیط‌زیستی مناسب است. در این پژوهش ابتدا با مرور ادبیات، نظارت و کنترل، پیشگیری از حوادث ناگوار، ردیابی مواد اولیه، تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه، پیش‌بینی نیازهای تولید و تبادل اطلاعات داخل و خارج سازمان به‌عنوان قابلیت‌های فناوری اینترنت اشیاء شناسایی شدند. همچنین بر اساس مرور ادبیات و پیشینه پژوهش، انجام فرآیندهای بهینه، کارایی تجهیزات، آموزش کارکنان، مدیریت ضایعات، تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی، ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی، انتخاب مسیر بهینه حمل‌ونقل و استفاده از مواد اولیه مناسب به‌عنوان اقدامات محیط‌زیستی مؤثر شناسایی و با استفاده از رویکرد دلفی فازی مورد تأیید قرار گرفتند. از سویی دیگر با توجه به مرور ادبیات و پیشینه پژوهش، معیارهای سهم بازار، میزان درآمد، مصرف انرژی و منابع، انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضایعات تولیدشده، استفاده از مواد بازیافتی، کیفیت محصولات تولیدشده، سلامت و امنیت کارکنان، رضایت کارکنان و رضایت مشتریان به‌عنوان مهم‌ترین معیارهای پایداری عملکرد شناسایی و علاوه بر تأیید آن‌ها بر اساس رویکرد دلفی فازی، سه معیار سلامت و امنیت مشتریان، گردش مالی و فرصت‌های شغلی جدید به معیارهای پایداری عملکرد توسط خبرگان شرکت‌های کوچک و متوسط پنج استان منتخب کشور اضافه شدند.

نتایج حاصل از مرحله اول ماتریس خانه کیفیت فازی نشان داد که اینترنت اشیاء نقش برجسته‌ای در امکان‌پذیر ساختن سه اقدام محیط‌زیستی قرارگرفته در رتبه اول تا سوم شامل انجام فرآیندهای بهینه، ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی و تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی در مقایسه با سایر اقدامات شناسایی شده در شرکت‌های کوچک و متوسط پنج استان منتخب کشور دارد. به‌عبارتی دیگر اینترنت اشیاء با استفاده از قابلیت‌های خود می‌تواند زمینه انجام فرآیندهای بهینه همچون برنامه‌ریزی دقیق تولید و کاهش زمان تولید محصول، بهینه‌سازی موجودی محصول، اجتناب از فعالیت‌های زائد کارکنان در محیط کار و استفاده از بسته‌بندی‌های قابل بازیافت را امکان‌پذیر سازد. اینترنت اشیاء با استفاده از قابلیت خود در نظارت و کنترل، پیش‌بینی نیازهای تولید و با جمع‌آوری داده‌های دقیق از فرآیندهای تولید می‌تواند الگوها و روندهای تولید را تحلیل کرده و پیش‌بینی مناسبی از موجودی موردنیاز مواد اولیه، نیروی کار، تجهیزات و سایر منابع ارائه کند. این موضوع باعث می‌شود تا از موجودی بیش‌ازاندازه در انبارها

1. Verma & Prakash
2. Guoyan et al.
3. Domingo & Aguado

کارکنان، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی به بررسی فناوری‌های پیشرفته اثرگذار بر آموزش کارکنان پرداخته شود.

سازمانی و برون‌سازمانی زمینه به‌کارگیری اینترنت اشیا در شرکت‌های کوچک و متوسط فراهم شود. علاوه بر این با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و نقش کمرنگ اینترنت اشیا در آموزش

References

- Abbaszadeh, M., Shirouyehzad, H., & Asadpour, M. (2023). "A fuzzy QFD approach to prioritize capabilities and enablers of organizational agility based on its drivers: a case study". *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(8), 1859-1875. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2021-0323>
- Abdelhamied, H. H., Elbaz, A. M., Al-Romeedy, B. S., & Amer, T. M. (2023). "Linking green human resource practices and sustainable performance: The mediating role of job satisfaction and green motivation". *Sustainability*, 15(6), 4835. <https://doi.org/10.3390/su15064835>
- Afshar Jahanshahi, A., Al-Gamrh, B., & Gharleghi, B. (2020). "Sustainable development in Iran post-sanction: Embracing green innovation by small and medium-sized enterprises". *Sustainable development*, 28(4), 781-790. <https://doi.org/10.1002/sd.2028>
- Ahmad, M. S., Fei, W., Shoaib, M., & Ali, H. (2024). "Identification of Key Drivers for Performance Measurement in Sustainable Humanitarian Relief Logistics: An Integrated Fuzzy Delphi-Dematel Approach". *Sustainability*, 16(11), 4412. <https://doi.org/10.3390/su16114412>
- Ahmad, S., Abdullah, A., & Talib, F. (2021). "Lean-green performance management in Indian SMEs: a novel perspective using the best-worst method approach". *Benchmarking: An International Journal*, 28(2), 737-765. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2020-0255>
- Akomea, S. Y., Agyapong, A., Ampah, G., & Osei, H. V. (2023). "Entrepreneurial orientation, sustainability practices and performance of small and medium enterprises: evidence from an emerging economy". *International Journal of Productivity and Performance Management*, 72(9), 2629-2653. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2021-0325>
- Bahrami, M. R., Hashemzadeh, G. R., Shahmansouri, A., & Fathi Hefeshjani, K. (2023). "Analyzing Effective Components in Industry 4.0 Readiness Assessments". *Journal of Industrial Management Perspective*, 13. 267-297, (2). [In persian] <https://doi.org/10.48308/jimp.13.2.267>
- Bakioglu, G. (2024). "Selection of sustainable transportation strategies for campuses using hybrid decision-making approach under picture fuzzy sets". *Technological Forecasting and Social Change*, 206, 123567. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123567>
- Cao, Y., Jia, F., & Manogaran, G. (2019). "Efficient traceability systems of steel products using blockchain-based industrial Internet of Things". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(9), 6004-6012. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2942211>
- De, D., Chowdhury, S., Dey, P. K., & Ghosh, S. K. (2020). "Impact of lean and sustainability-oriented innovation on sustainability performance of small and medium sized enterprises: a data envelopment analysis-based framework". *International Journal of Production Economics*, 219, 416-430. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.003>
- Domingo, R., & Aguado, S. (2015). "Overall environmental equipment effectiveness as a metric of a lean and green manufacturing system". *Sustainability*, 7(7), 9031-9047. <https://doi.org/10.3390/su7079031>
- Guoyan, S., Khaskheli, A., Raza, S. A., & Ahmed, M. (2022). "Nonlinear impact of municipal solid waste recycling and energy efficiency on environmental performance and economic growth: evidence from non-parametric causality-in-quantiles". *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 16066-16081.

- <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16721-1>
- Habidin, N. F., Zubir, A. F. M., Conding, J., Jaya, N. A. S. L., & Hashim, S. (2013). "Sustainable manufacturing practices, sustaining lean improvements and sustainable performance in Malaysian automotive industry". *World Review of Entrepreneurship, Management and Sustainable Development*, 9(4), 444-459. <https://doi.org/10.1504/WREMSD.2013.056755>.
- Haque, F., & Ntim, C. G. (2018). "Environmental policy, sustainable development, governance mechanisms and environmental performance". *Business Strategy and the Environment*, 27(3), 415-435. <https://doi.org/10.1002/bse.2007>.
- Hussain, N., Rigoni, U., & Cavezzali, E. (2018). "Does it pay to be sustainable? Looking inside the black box of the relationship between sustainability performance and financial performance". *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 25(6), 1198-1211. <https://doi.org/10.1002/csr.1631>
- Iwano, J., Mwash, A., Williams, R. G., & Zico, R. (2014). "An Integrated Criteria Weighting Framework for the sustainable performance assessment and design of building envelope". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 417-434. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.096>
- Jafari, Z., Ebrahimpour Azbari, M., & Akbari, M. (2021). "The Role of University and Industry Relationship in Improving Factors Affecting on Sustainable Performance of SMEs". *Science and Technology Policy Letters*, 11(2), 17-34. [In persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24767220.1400.11.1.6.4>.
- Jayashree, S., Hassan Reza, M. N., Malarvizhi, C. A. N., Maheswari, H., Hosseini, Z., & Kasim, A. (2021). "The impact of technological innovation on industry 4.0 implementation and sustainability: an empirical study on Malaysian small and medium sized enterprises". *Sustainability*, 13(18), 10115. <https://doi.org/10.3390/su131810115>
- Karışan, A., Gündoğdu, F. K., Işık, G., Kaya, İ., & İlbar, E. (2024). "Assessment of governmental strategies for sustainable environment regarding greenhouse gas emission reduction under uncertainty". *Journal of environmental management*, 349, 119577. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119577>
- Mancini, L., Vidal Legaz, B., Vizzarri, M., Wittmer, D., Grassi, G., & Pennington, D. (2019). "Mapping the role of raw materials in sustainable development goals". A Preliminary Analysis of Links, Monitoring Indicators, and Related Policy Initiatives, 3, 1-9.
- Mohammed, I. A. (2014). "An exploratory study on the application of Internet of Things and monitoring systems in the automobile industry". *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 2 (1), 148-151.
- Morovati Sharifabadi, A., Ziaei, M., Mirfakhradini, S. H., & Zanjirchi, S. M. (2024). "Toward Industry 4.0 in home appliance industry: challenges and future perspectives". *Journal of Advances in Management Research*. 21 (3), 354-375. <https://doi.org/10.1108/JAMR-03-2023-0070>
- Mu, X., & Antwi-Afari, M. F. (2024). "The applications of Internet of Things (IoT) in industrial management: a science mapping review". *International Journal of Production Research*, 62(5), 1928-1952. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2290229>
- Nawaser, K., Hakkak, M., Aei, M. A., Vafaei-Zadeh, A., & Hanifah, H. (2023). "The effect of green innovation on sustainable performance in SMEs: the mediating role of strategic learning". *International Journal of Productivity and Quality Management*, 39(4), 490-511. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2023.132828>
- Nižetić, S., Šolić, P., Gonzalez-De, D. L.-d.-I., & Patrono, L. (2020). "Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future". *Journal of Cleaner Production*, 274, 122877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122877>

- Pamula, A. S., Ravilla, A., & Madiraju, S. V. H. (2022). "Applications of the internet of things (IoT) in real-time monitoring of contaminants in the air, water, and soil". *Engineering Proceedings*, 27(1), 26. <https://doi.org/10.3390/ecsa-9-13335>
- Petrudi, S. H. H., Ghomi, H., & Mazaheriasad, M. (2022). "An Integrated Fuzzy Delphi and Best Worst Method (BWM) for performance measurement in higher education". *Decision Analytics Journal*, 4, 100121. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100121>
- Rajendran, S., & Gambatese, J. A. (2009). "Development and initial validation of sustainable construction safety and health rating system". *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(10), 1067-1075. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:\(1067\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:(1067))
- Reda, H., & Dvivedi, A. (2022). "Decision-making on the selection of lean tools using fuzzy QFD and FMEA approach in the manufacturing industry". *Expert Systems with Applications*, 192, 116416. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116416>
- Shahzad, M. A., Jianguo, D., & Junaid, M. (2023). "Impact of green HRM practices on sustainable performance: mediating role of green innovation, green culture, and green employees' behavior". *Environmental Science and Pollution Research*, (38) 30, 88524-88547. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28498-6>
- Sohrabi, R., Pouri, K., Sabk Ara, M., Davoodi, S. M., Afzoon, E., & Pourghader Chobar, A. (2021). "Applying sustainable development to economic challenges of small and medium enterprises after implementation of targeted subsidies in Iran". *Mathematical Problems in Engineering*, 2021(1), 2270983. <https://doi.org/10.1155/2021/2270983>
- Suciu, A.-D., Tudor, A. I. M., Chițu, I. B., Dovleac, L., & Brătucu, G. (2021). "IoT technologies as instruments for SMEs' innovation and sustainable growth". *Sustainability*, 13(11), 6357. <https://doi.org/10.3390/su13116357>
- Tajpour, M., Hosseini, E., Ratten, V., Bahman-Zangi, B., & Soleymanian, S. M. (2023). "The role of entrepreneurial thinking mediated by social media on the sustainability of small and medium-sized enterprises in Iran". *Sustainability*, 15(5), 4518. <https://doi.org/10.3390/su15054518>
- Turcu, C., Turcu, C., & Gaitan, V. (2018). "An Internet of Things oriented approach for water utility monitoring and control". *Advances in Computer Science*. arXiv preprint arXiv:1811.12807. <https://doi.org/10.3390/su15054518>
- Verma, G., & Prakash, S. (2020). "A comparative study based on different energy saving mechanisms based on green internet of things (GIoT)". *Paper presented at the 2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*. <https://doi.org/10.1109/ICRITO48877.2020.9197848>
- Vermesan, O., & Friess, P. (2014). "Internet of things applications-from research and innovation to market deployment": Oxford: Taylor & Francis.
- Yadegaridehkordi, E., Foroughi, B., Iranmanesh, M., Nilashi, M., & Ghobakhloo, M. (2023). "Determinants of environmental, financial, and social sustainable performance of manufacturing SMEs in Malaysia". *Sustainable Production and Consumption*, 35, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.026>
- Zohrabi, A., Karimi, J., & Mohebi, A. (2020). "Explaining the Applications of Internet of things in Iran's Sports Industry: A Sustainable Development Approach". *Communication Management in Sport Media*, 7(3), 91-98. [In persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23455578.1399.7.3.8.4>