Journal of Mineral Resources Engineering, 9(3): 61-76, (2024)

Imam Khomeini International University
Vol. 9, No. 3, Autumn 2024

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

Research Paper

Introducing a Holistic Framework for Assessing the Performance of Sustainable Mine Development Based on the SBSC and FANP Approaches

Azimizadeh S.[1], Babaei F.[2*], Karimzadegan H.[3], Bahmanpour H.[4], Tabesh M.[2]

1- Ph.D Student, Dept. of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch, Tehran, Iran
2- Assisstant Professor, Dept. of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch, Tehran, Iran
3- Associate Professor Department of Environmental Sciences and Engineering, Islamic Azad University Lahijan Branch, Lahijan, Iran
4- Assistant Professor, Dept. of Environment, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran

Received: 17 May 2023 **Accepted: 28 Nov. 2023**

Abstract: This study presents a tool for evaluating sustainable development in the mining industry. We identified indicators related to four dimensions: growth and learning, economy, environment, and society. A total of 75 primary indicators were determined. Indicators with a mean weight of over 3.6 were considered suitable, resulting in the selection of 28 final indicators. The top-ranked indicator was "number of lost days" with a mean weight of 10.9, followed by "total amount of waste produced" with a mean weight of 7.73. The indicators of "waste management" and "efforts to restore the mine" had mean weights of 5.9, ranking third. To assess the weight of each dimension in evaluating sustainability performance, the researchers used the FANP method and a pairwise comparison questionnaire. The inconsistency rate of the pairwise comparisons, estimated using the Gogos and Butcher's method, was below 0.1 for all questionnaires, indicating consistency. The results showed that the "growth and learning" dimension had the highest mean weight of 0.48, followed by the "community" dimension with a mean weight of 0.24. The "environment" dimension ranked third with a mean weight of 0.22, while the "economy" dimension ranked fourth with a mean weight of 0.16 among all dimensions.

Keywords: Sustainability balanced scorecard (SBSC), Sustainability report, Fuzzy Delphi technique, Fuzzy network analysis, Fuzzy pairwise comparisons.

How to cite this article
Azimizadeh, S., Babaei, F., Karimzadegan, H., Bahmanpour, H., and Tabesh, M. (2024). *"Introducing a holistic framework for assessing the performance of sustainable mine development based on the SBSC and FANP approaches"*. Journal of Mineral Resources Engineering, 9(3): 61-76.
DOI: 10.30479/JMRE.2024.18794.1645

*Corresponding Author Email: *f.babaei@srbiau.ac.ir*

COPYRIGHTS
©2024 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCTION

The pursuit of economic benefits in industrial development has resulted in significant environmental and social problems. To address these challenges, the concept of sustainable development has emerged, encompassing economic, environmental, and social dimensions. The mining industry, which supplies materials for various sectors, faces numerous developmental challenges related to mineral extraction and exploitation. Effective performance control is crucial in strategic matters like sustainable development [1].

Different models have been employed to evaluate performance, including ISO14031, GRI, BSC, AHP, ANP, and Composite Index, each with its own approach to sustainability performance evaluation [2]. Among these models, the Balanced Scorecard (BSC) has gained considerable attention due to its international experience and practical success [3]. The BSC is a comprehensive framework that uses quantitative criteria aligned with an organization's strategies to establish connections between macro objectives, quantitative measures, goals, plans, and initiatives. Modified versions of the original BSC, which explicitly incorporate environmental, social, or ethical considerations, are often referred to as a Balanced Scorecard for Sustainability (SBSC). The SBSC framework addresses the essential requirements of sustainability, enabling continuous improvement in business performance and facilitating the implementation of organizations' strategic environmental and social objectives.

METHODS

Determining the perspectives of SBSC

The perspectives of sustainability, namely economic, environmental, growth and learning, and social perspectives, were identified based on an extensive review of relevant research literature and the primary objective of this study.

Selecting the indicators for each perspective

The selection of performance criteria is a challenging task in developing performance measurement systems (PMSs). To identify indicators for each of the four main perspectives of SBSC, a comprehensive literature review was conducted. Additionally, performance reports from four organizations (Ayandeh Bank's Sustainability Performance Report 2016, SSR Mining's Sustainability Report 2018, FORTUNA Silver Mines INC's Sustainability Report 2018, and Endeavor Mining's Sustainability Report 2017) available on the Global Reporting Program website were analyzed. The Environmental Performance Indicators Guideline for Organizations developed by the Japanese Ministry of the Environment was also utilized. As a result, a total of 75 primary indicators were identified.

Screening and selecting indicators using a questionnaire and experts' opinions

Data collection involved the use of an employee questionnaire that incorporated 75 indicators as checklist tools. These indicators were categorized into four dimensions: "learning and growth", "social", "economic", and "environmental", which included 4, 18, 11, and 42 sub-criteria, respectively. The expert panel was then provided with the indicators to provide their opinions on each indicator using the verbal variables included in the questionnaire. Table 1 presents the linguistic terms and their corresponding fuzzy numbers.

To screen the indicators from the fuzzy average column, we calculated the geometric mean values (which were equal to 2.56, 3.84, and 4.45) and the non-fuzzy number of this result (i.e., 3.6). Therefore, indicators with an average of less than 3.6 were excluded. Table 2 compares the number of indicators before and after the experts' opinions.

Table 1. Linguistic Terms and Fuzzy Delphi Numbers

Linguistic term	Triangular fuzzy numbers
Highly unsuitable	(0, 0, 0.25)
Not suitable	(0, 0.25, 0.5)
Moderately suitable	(0.25, 0.5, 0.75)
Suitable	(0.5, 0.75, 1)
Highly suitable	(0.75, 1, 1)

Table 2. Comparison of the number of indicators before and after experts' opinions

Row	Perspective	Number of indicators in each perspective before the experts' opinions	Number of indicators in each perspective after the experts' opinions
1	Growth and learning	4	2
2	Social	18	7
3	Economic	11	5
4	Environment	42	14
Total		75	28

Ranking the perspectives

Based on the identified sustainable performance evaluation indicators in mining and mineral industries, we now rank the SBSC and the identified perspectives using the Fuzzy Analytic Network Process (FANP) method. We designed paired comparison questionnaires and distributed them among experts to achieve the research goal. According to the fuzzy approach in this research, verbal terms and fuzzy numbers listed in Table 3 were used.

Table 3. Fuzzy set scale and the corresponding verbal term

Definition	Triangular fuzzy numbers	Crisp number
Equal superiority	(0, 0, 0.25)	1
Low superiority	(0, 0.25, 0.5)	3
Moderate superiority	(0.25, 0.5, 0.75)	5
High superiority	(0.5, 0.75, 1)	7
Very high superiority	(0.75, 1, 1)	9

Validity and reliability of the questionnaire

To assess the validity of the questionnaire, experts' opinions were utilized. The questionnaire employed paired comparisons, and the concept of inconsistency rate was employed to measure its reliability and validity. The Gogos and Butcher's inconsistency rate method was employed for this purpose.

Evaluating the consistency rate of pairwise comparison matrices

Before calculating the weights of the perspectives, we need to ensure the consistency rate of the opinions. It is better to include the opinions of different decision-makers in the group calculations when the inconsistency rate of the opinions of each decision-maker is less than 0.1. If the inconsistency rate is less than or equal to 0.1, there is consistency in pairwise comparisons, and the process can be continued; otherwise, the decision-maker should revise the pairwise comparisons. The matrix consistency shows the extent to which the priorities specified in the matrix are reliable. In other words, the matrix will be inconsistent if the equation aik * akj= aij is not true for each of i, j, and k. All the questionnaires used in the analyses were found to be consistent.

Determining the geometric mean of the pairwise comparisons matrices to determine the final fuzzy weight and the final crisp weight of each perspective

To mitigate any biased attitudes, a group decision-making approach was employed to form the paired comparison matrix. The geometric mean method was used to incorporate the attitudes and judgments of the group members in this matrix. The details of the paired comparisons, including the attitudes and judgments of the group members, were not included in the table due to its extensive nature. By calculating the geometric mean for each matrix array, pairwise comparisons of the criteria were obtained. Subsequently, by normalizing the geometric mean matrix of pairwise comparisons and calculating the geometric mean of each row, the weights of the perspectives were determined. Tables 4 and 5 present the geometric mean matrix of pairwise comparisons and its normalized values.

Table 4. The geometric mean of pairwise comparisons

	Growth and learning	Environmental	Social	Economic
Economic	(0, 0.38, 0.64)	(0, 0.57, 0.84)	(0, 0.52, 0.75)	(0, 0, 0.25)
Social	(0, 0.56, 0.8)	(0, 0.42, 0.68)	(0, 0, 0.25)	(0.6, 0.8, 1)
Environmental	(0, 0.4, 0.66)	(0, 0, 0.25)	(0.5, 0.16, 0.95)	(0, 0.56, 0.78)
Growth and learning	(0, 0, 0.25)	(0, 0.5, 0.69)	(0.64, 0.89, 1)	(0, 0.59, 0.83)

Table 5. Normalization of the geometric mean matrix of pairwise comparisons

	The first normalized column	The second normalized column	The third normalized column	The fourth normalized column
Economic	(0.42, 0, 0)	(0.66, 0.34, 0)	(0, 0.39, 0)	(0, 0, 0)
Social	(1.67, 0.42, 0.23)	(0.22, 0, 0)	(0, 0.29, 0)	(0, 0, 0)
Environmental	(1.3, 0.29, 0)	(0.84, 0.1, 0.17)	(0, 0, 0)	(0, 0, 0)
Growth and learning	(1.39, 0.3, 0)	(0.88, 0.57, 0.22)	(0, 0.34, 0)	(0, 0, 0)

Table 6 presents the weights of the four main criteria of the BSC calculated using the FANP method. The relative weight of the perspectives of sustainability, which is equal to the geometric mean of each line, was achieved in a fuzzy manner as given in the Table 6:

Table 6. Final weight of the perspectives of SBSC

Perspective	Average fuzzy final weight	Average finalized crisp weight
Economic	(0.27, 0.19, 0)	0.16
Social	(0.48, 0.18, 0.06)	0.24
Environmental	(0.6, 0.01, 0.04)	0.22
Growth and learning	(0.57, 0.3, 0.55)	0.48

Determining the sustainability weight

The final weight of each perspective was calculated by multiplying the fuzzy weight of the perspectives of SBSC to the scores of the indicators.

Scores of indicators*weight of perspectives = weight of sustainability (1)

FINDINGS AND ARGUMENT

The main objective of this study was to identify, rank, and assess the factors influencing sustainability and develop a comprehensive model for evaluating sustainability performance in the mining industry. The study aimed to address challenges such as the lack of standards, information validity, bias, transparency, and independence in sustainability rating. By adopting the Sustainable Balanced Scorecard (SBSC) with economic, social, environmental, and growth and learning perspectives, this study contributed to the literature by providing an advanced theoretical model for sustainability performance measurement.

Fuzzy sets were employed in this research to align with linguistic and human explanations, using triangular fuzzy numbers. Additionally, the fuzzy network analysis method was utilized to rank the factors affecting sustainability. Through a literature review, 75 primary indicators related to the four main perspectives of SBSC were identified. Experts were consulted to analyze the factors affecting sustainable performance in the mining industry using a questionnaire. Eventually, the indicators were evaluated for research ability and relevance, and 28 indicators were selected as the final indicators based on an average weight threshold of 3.6.

The weight of each perspective in evaluating sustainability performance in the mining industry was determined using the Fuzzy Analytic Network Process (FANP) method and the paired comparison questionnaire. The reliability and validity of the questionnaire were assessed using the concept of inconsistency rate, which was found to be consistent with values lower than 0.1. The evaluation of sustainability performance indicators in the mining industry revealed that among the SBSC indicators, "number of lost days", "total number of production waste", "waste management", and "effort to reconstruct the mine" ranked as the top indicators with mean weights of 10.9, 7.73, and 5.9, respectively. The "growth and learning" perspective had the highest mean weight of 0.48, indicating its superiority over the other perspectives. The social, environmental, and economic perspectives ranked second, third, and fourth, respectively, with mean weights of 0.24, 0.22, and 0.16.

CONCLUSION

In conclusion, this study aimed to identify, prioritize, and assess factors influencing sustainability in the mining industry and proposed a comprehensive framework for evaluating sustainability performance based on the SBSC model. The findings indicated that the "number of lost days" and "total number of production waste" were significant indicators. The "growth and learning" perspective exhibited the highest level of sustainability, followed by the "society", "environment", and "economy" perspectives. However, the research has limitations regarding sustainable development indicators and the lack of comprehensive research in the mining sector. The reliance on the opinions of company managers and experts also poses limitations in terms of comprehensiveness. It is recommended to replicate the study in organizations operating in similar industries to facilitate comparisons.

REFERENCES

[1] Alam Tabriz, A., Mohammadi, A. S., and Pishivaei, M. S. (2013). *"Evaluation of mining industry sustainability with balanced score card approach – hierarchy analysis (AHP-BSC)"*. Iranian Journal of Industrial Management Studies, 28: 40-21. (In Persian)

[2] Erechtchoukova, M., Khaiter, P. A., and Golinska, P. (2013). *"Sustainability appraisal: quantitative methods and mathematical techniques for environmental performance evaluations"*. Springer Berlin, Heidelberg, pp. 254. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-32081-1.

[3] Nan, C. (2009). *"Sustainabity performance Evaluation system in Government; A Balance Score Card Approch Toward Sustainable Development"*. Springer Dordrecht, pp. 177. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-3012-2.

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

دانشگاه بین المللی امام خمینی
IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دوره نهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحه ٦٦ تا ٧٦
Vol. 9, No. 3, Autumn 2024, pp. 66-76

علمی-پژوهشی

ارایه یک الگوی جامع ارزیابی عملکرد توسعه پایدار معدن با رویکرد SBSC و FANP

سعید عظیمی زاده[۱]، فرزام بابایی[۲*]، حسن کریم زادگان[۳]، هومن بهمن‌پور[۴]، محمدرضا تابش[۲]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۲- استادیار، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان
۴- استادیار، گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی،شاهرود

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۷

چکیده

هدف این تحقیق ارایه یک ابزار مناسب برای ارزیابی عملکرد توسعه پایدار در صنعت معدن است. بدین منظور بر مبنای ادبیات و پیشینه پژوهش، شاخص‌های مرتبط با مناظر کارت امتیازی متوازن پایداری شامل رشد و یادگیری، اقتصاد، محیط زیست و اجتماع بررسی و در نهایت ۷۵ شاخص اولیه شناسایی شدند. در این تجزیه و تحلیل شاخص‌هایی که میانگین وزن آن‌ها بیشتر از ۳/۶ بودند به عنوان شاخص مناسب در نظر گرفته شدند که در نهایت ۲۸ شاخص به عنوان شاخص نهایی انتخاب شدند. شاخص«تعداد روزهای از دست رفته» با میانگین وزن ۱۰/۹ در رتبه اول و شاخص «تعداد کل ضایعات تولیدی» با میانگین وزن ۷/۷۳ در رتبه دوم و شاخص‌های «مدیریت باطله» و «تلاش در جهت بازسازی معدن» با وزن ۵/۹ در رتبه سوم قرار گرفت. در مرحله بعد با استفاده از روش FANP به وزن‌دهی و رتبه‌بندی مناظر کارت امتیازی متوازن پایدار، پرداخته شد. بدین منظور پرسشنامه مقایسات زوجی طراحی و بین خبرگان توزیع شد. نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی با استفاده از روش گوگوس و بوچر کمتر از ۰/۱ و سازگار بودند. نتایج تحقیق نشان داد که در میان مناظر کارت امتیازی متوازن پایداری منظر «رشد و یادگیری» با میانگین وزن ۰/۴۸ نسبت به سایر مناظر برتری داشته است. منظر «اجتماع» با میانگین وزن ۰/۲۴ در رتبه دوم، منظر «محیط زیست» با میانگین وزن ۰/۲۲ در رتبه سوم و در نهایت منظر «اقتصاد » با میانگین وزن ۰/۱۶ در رتبه چهارم نسبت به سایر مناظر قرار دارد.

کلمات کلیدی

کارت امتیازی متوازن پایدار، گزارش پایداری، تکنیک دلفی فازی، تحلیل شبکه‌ای فازی، مقایسات زوجی فازی.

استناد به این مقاله
عظیمی زاده، س.، بابایی، ف.، کریم زادگان، ح.، بهمن پور، ه.، تابش، م.؛ ۱۴۰۳؛ "ارایه یک الگوی جامع ارزیابی عملکرد توسعه پایدار معدن با رویکرد SBSC و FANP". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره نهم، شماره ۳، ص ۷۶-۶۱.
DOI: 10.30479/JMRE.2024.18794.1645

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: f.babaei@srbiau.ac.ir

حق‌مؤلف © نویسندگان
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

۱- مقدمه

اصطلاح توسعه به ارتقای سطح و کیفیت زندگی افراد و بهبود رفاه جامعه معطوف است و پایداری آن به استمرار این فرآیند در طول نسل‌های بشر بستگی دارد. اگرچه مشکلات خاص و گسترده بیشتر به توجه و تاکید کشورهای جهان سوم بر حصول توسعه تا پایداری آن منجر شده است، اما باید توجه داشت حذف شکاف کنونی میان دو دنیای توسعه یافته و در حال توسعه بدون پایداری فرآیند توسعه، امکان‌پذیر نیست. پایداری ریشه خود را در میان پایداری اکولوژیکی دارد. از سوی دیگر توسعه پایدار حل چالش بین ابعاد اقتصادی و طبیعی است. در فرآیند توسعه پایدار، نقش پایداری اجتماعی در تحقق اهداف توسعه پایدار بسیار اهمیت دارد و در نهایت می‌توان گفت پایداری زمانی فراهم می‌شود که مجموعه‌ای از پایداری اجتماعی با هدف عدالت اجتماعی (Social Equity)، پایداری اقتصادی با هدف بقای اقتصادی (Economic Viability) و پایداری محیط زیست با هدف تعادل اکولوژیک (Ecological Balance) به وجود آید [۱]. یکی از صنایعی که همواره به کرات از محصولات آن استفاده می‌شود، صنعت معدن است. استخراج و استحصال مواد معدنی با چالش‌های بسیاری در زمینه توسعه پایدار مواجه است [۲]. معدن‌کاری سهم قابل توجهی در تمدن بشر تا به امروز داشته است ولی عملیات و فرآیندهای آن در صورت نبود مدیریتی صحیح و کارآمد آثار نامطلوبی بر محیط زیست خواهد داشت. اثرات آن غالبا جبران ناپذیرند که این نیز باعث کاهش میزان خودپالایی نظام طبیعی می‌شود. برداشت معدن بدون توجه به اصول پایداری، آثار غیرقابل جبرانی را در آینده بر پیرامون معدن و بر پیکره جامعه زیستی اطراف معادن ایجاد می‌کند [۳].

با توجه به اهمیت موضوع اندازه‌گیری یا برآورد میزان پایداری یا میزان نزدیکی و دوری به آن یا حتی قرار گرفتن در مسیر دستیابی به آن، هدف گذاری و تصمیم‌گیری در فرآیند برنامه‌ریزی و مدیریت، ارزیابی عملکرد توسعه پایدار، تعیین مجموعه‌ای از شاخص‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

تا به حال از مدل‌های مختلفی با رویکردهای متفاوت برای ارزیابی عملکرد استفاده شده است. از مدل‌های ارزیابی عملکرد توسعه پایدار می‌توان به مدل ISO14031، GRI[۱]، BSC[۲]، AHP[۳] و ANP[۴] اشاره کرد [۴]. با توجه به تجربه عالی در سطح جهانی و موفقیت‌های عملی در ارزیابی عملکرد توسعه پایدار، ابزار قدرتمند BSC مورد توجه قرار گرفته است [۵].

کارت امتیازی متوازن (BSC) مجموعه از معیارهای کمی است که بر اساس استراتژی‌های سازمان انتخاب می‌شود و اهداف کلان، معیارها و اهداف کمی، برنامه‌ها و ابتکارات را با هم مرتبط می‌سازد. کارت امتیازی متوازن ابتدا در اوایل سال ۱۹۹۰ توسط کاپلان و نورتن برای توسعه سیستم ارزیابی عملکرد تجارت (کسب و کار) ارایه شد [۶]. روش BSC برای ارزیابی یک سازمان از چهار منظر مالی، مشتری، فرآیندهای داخلی و دیدگاه رشد و یادگیری استفاده می‌شود [۷].

توجهات دانشگاهی و عملیاتی BSC نشان دادند که BSC یک ابزار مناسب برای مبحث توسعه پایدار است. تغییرات BSC که به طور صریح به مباحث اجتماعی و محیط زیستی توجه می‌کند غالبا به کارت امتیازی متوازن پایدار[۵] (SBSC) منسوب می‌شود.

SBSC به الزامات اساسی پایداری برای بهبود دایمی در عملکرد کسب و کارها اشاره می‌کند و به طور مشخص به پیاده‌سازی در اهداف استراتژیکی اجتماعی و محیط زیستی شرکت‌ها کمک می‌کند. SBSC به عنوان یک ابزار کنترلی مدیریت و ارزیابی عملکرد پایداری نقشی مهم برای هدایت شرکت‌ها در جهت اهداف پایداری بازی می‌کند [۸]. SBSC به کاستی‌هایی که اغلب رویکردهای موازی سیستم‌های مدیریت اجتماعی و محیط زیستی که در گذشته اجرا شده است غلبه پیدا کرده است [۹]. استفاده از شاخص‌های توسعه پایدار و آنالیز کمی در بلندمدت باعث بهبود عملکرد شده است و بقا و رشد سازمان را به دنبال دارد. یکی از نقاط قوت SBSC در توانایی آن در ساختن پلی بین سطوح استراتژیکی و عملیاتی است تا جنبه‌های محیط زیستی و اجتماعی که برای موفقیت مالی شرکت‌ها مهم هستند را مشخص کنند. در این مبحث با تکیه بر به کارگیری رویکرد توسعه پایدار شکلی نوین از رویکرد کارت امتیازی متوازن تحت عنوان کارت امتیازی متوازن پایدار به کار گرفته شده است و با استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چند شاخصه به ارزیابی عملکرد توسعه پایدار پرداخته می‌شود. کارت امتیازی متوازن پایدار (SBSC) کاربردی جدید به عنوان ابزار ارزیابی توسعه پایدار ارایه می‌کند. همچنین با توجه به دانش نظری کم در حوزه ارزیابی عملکرد پایداری در سطح معادن و صنایع معدنی این تحقیق ضمن ارتقای دانش نظری در این حوزه، در نهایت به دستیابی به یک مدل نظریه‌ای برای تبیین شاخص‌های توسعه پایدار کمک می‌کند.

۲- روش

پس از انجام مطالعات نظری، کارت امتیازی متوازن پایدار به عنوان ابزار مناسب در این راه شناخته شده و پس از آن شاخص‌های بین‌المللی ارزیابی توسعه پایدار در صنعت و معدن با استفاده از نظر خبرگان و با توجه به شرایط این صنعت در کشور ایران، غربال شده و در منظرهای کارت امتیازی متوازن پایدار قرار گرفته‌اند. در پایان نیز با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه، وزن اهمیت منظرهای کارت امتیازی متوازن و شاخص‌های آن به دست آمده‌اند تا ابزاری کمکی در اختیار سازمان‌های فعال در صنعت معدن قرار گیرد. مراحل تحقیق عبارتند از:

- بررسی شاخص‌های عملکرد پایداری از طریق بررسی کتابخانه‌ای و مقالات علمی
- انتخاب مناظر اصلی عملکرد توسعه پایدار[۶] با استفاده از ادبیات پژوهش
- جانمایی شاخص‌های توسعه پایدار در مناظر SBSC
- گردآوری داده‌ها از طریق پرسشنامه
- پرسشنامه ۱: برای شناسایی، اهمیت و وزن شاخص‌های تعیین شده
- پرسشنامه ۲: برای تعیین وزن مناظر ارزیابی عملکرد بر اساس مفهوم FANP
- تعیین وزن نهایی از طریق حاصلضرب وزن مناظر SBSC در وزن شاخص‌های تعیین شده
- تدوین مدل ارزیابی عملکرد توسعه پایدار

۳- نتایج و بحث

به طور مشخص سیستم‌های مدیریت توسعه پایدار و زیست محیطی در سال‌های اخیر توسط شرکت‌ها اجرا شده ولی این سیستم‌ها به ندرت با سیستم مدیریت عمومی شرکت‌ها تلفیق و به موفقیت‌های اقتصادی شرکت‌ها متصل نشده‌اند و همکاری و کمک کردن اقتصادی مدیریت زیست محیطی و توسعه پایدار غیرواضح باقی مانده‌اند. تعیین مناظر مناسب کارت امتیازی متوازن توسعه پایدار و شاخص‌های مناسب هر منظر و در نهایت تعیین وزن آنها زمینه‌ساز حرکت به سمت توسعه پایدار در سطح شرکت‌ها است که نتایج این تحقیق به شرح ذیل است:

۳-۱- تعیین مناظر کارت امتیازی متوازن پایداری (SBSC)

با توجه به ادبیات پژوهش، از آنجایی که مفهوم کارت امتیازی متوازن پایدار (SBSC) از مفهوم کارت امتیازی متوازن (BSC) مشتق شده است، بنابراین با جایگزین کردن منظرهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی با سایر منظرهای کارت امتیازی متوازن (مالی، مشتری، فرآیندهای داخلی، رشد و یادگیری)، مناظر کارت امتیازی متوازن پایدار، در چهار منظر اقتصادی[۷]، محیط زیستی[۸]، اجتماعی[۹]، رشد و یادگیری[۱۰] تعیین گردید.

منظر رشد و یادگیری به آن دسته اقداماتی گفته می‌شود که باید در رشد و یادگیری و آموزش کارکنان به کار گرفته شود تا از این راه وضعیت مطلوب از نظر ذینفعان و مشتریان تحقق پیدا کند [۱۰]. دانش به عنوان یکی از نیروهای بسیار موثر در تحولات اقتصادی و اجتماعی به شمار می‌آید و به عنوان یک کالای عمومی محسوب می‌شود؛ زیرا می‌توان دانش را بدون کاهش و استهلاک با دیگران به مشارکت گذاشت. در عین حال این یک مشخصه منحصر به فرد برای این کالای عمومی محسوب می‌شود که بر خلاف سایر کالاهای فیزیکی (مانند دارایی‌های مادی و منابع طبیعی و سرمایه) استفاده از آن از کمیت آن نمی‌کاهد و می‌توان از آن بارها استفاده کرد. به این ترتیب دانش، به عنوان یک منبع دایمی همواره در اختیار بنگاه‌های اقتصادی قرار گرفته و با مشارکت مکرر در فرآیندهای گوناگون تولیدی و خدماتی، سبب افزایش مزیت رقابتی و ایجاد ارزش افزوده می‌شود که این امر سبب گسترش رفاه اجتماعی و عامل کاهش فقر و بی‌عدالتی و موجب ارتقای روند توسعه پایدار گردد. از این رو می‌توان چنین استنباط کرد که نقش دانش، آموزش و یادگیری در تحقق اهداف توسعه پایدار بارز بوده و ارتباط آن با توسعه پایدار اجتناب‌ناپذیر است [۱۱].

۳-۲- انتخاب شاخص‌ها در ارتباط با هر منظر

در ارتباط با ایجاد سیستم‌های ارزیابی عملکرد (PMS)[۱۱] یکی از مشکل‌ترین کارها، انتخاب معیارهای عملکرد است. با مطالعه مقالات و بررسی ادبیات پژوهش، عملیات تعیین شاخص‌های مربوط به هر یک از چهار منظر اصلی روش کارت امتیازی متوازن پایدار انجام گرفت. برای تشخیص شاخص‌های اولیه، گزارش عملکرد ۴ سازمان (گزارش عملکرد پایداری ۱۳۹۶ بانک آینده، sustainability report 2018 SSR Mining، sustainability report FORTUNA Silver Mines INC 2018، sustainability report 2017 ENDEAVOUR Mining) در سایت برنامه جهانی گزارش‌دهی مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر آن از راهنمای

شاخص‌های کلیدی عملکرد در سازمان‌ها که توسط وزارت محیط زیست ژاپن (Environmental Performance Indicator Guideline, Ministry of the Environment, Japan Government) تدوین شده بود، استفاده شد که نتیجه آن شناسایی ۷۵ شاخص اولیه بود.

۳-۳- غربالگری و انتخاب شاخص‌ها با استفاده از پرسشنامه با استفاده از نظر خبرگان

برای تایید و غربال شاخص‌های از قضاوت خبرگان استفاده شد. در این مرحله از ۱۵ نفر متخصص آشنا به محیط داخلی و خارجی شرکت و همچنین فرآیندها و عملیات‌های شرکت استفاده گردید. داده‌های مورد نیاز از ترکیب ابزارهای چک‌لیست در پرسشنامه کارکنان (شامل ۷۵ شاخص)، با توجه به شاخص‌های استخراج شده از ادبیات تحقیق در چهار منظر یادگیری و رشد، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست سازماندهی گردید (منظر یادگیری و رشد با ۴ شاخص، منظر اجتماعی با ۱۸ شاخص، منظر اقتصادی با ۱۱ شاخص و منظر محیط زیست با ۴۲ شاخص) و در اختیار گروه خبره قرار گرفت و از آنها خواسته شد نظراتشان را درباره هر شاخص در قالب متغیرهای کلامی مندرج در پرسشنامه بیان کنند. بخش نظر خبرگان به منظور اضافه کردن شاخصی که مناسب باشد و در پرسشنامه مطرح نشده است، آورده شد. در این روش از منطق فازی و اعداد حاصل از تکنیک دلفی فازی، استفاده شد تا هم توافق خبرگان در مورد شاخص‌ها مبنای تصمیم‌گیری باشد و هم در فضای دقیق‌تر به تحلیل نظرات پرداخته شود. جامعه آماری این تحقیق ۱۵ نفر متخصص و خبره آشنا به عملیات اجرایی و محیط داخلی و خارجی است. تمامی اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق اجماع قضاوت‌های متخصصان حاصل شد. از مجموع ۱۵ پرسشنامه که میان خبرگان توزیع گردید، تعداد ۱ عدد نامعتبر بود. در نهایت ۱۴ پرسشنامه معتبر جمع‌آوری گردید که اطلاعات دموگرافیک آمده از آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جهت سنجش شاخص‌های مناظر SBSC در معدن و صنایع معدنی داده‌های مورد نیاز از ترکیب ابزارهای چک‌لیست در پرسشنامه کارکنان جمع‌آوری شده‌اند. چک‌لیست یاد شده شامل ۷۵ شاخص بوده که با مقیاس لیکرت پنج گزینه‌ای اندازه‌گیری شده‌اند. متغیرهای موجود در پرسشنامه به شکل اعداد فازی مثلثی تعریف شده‌اند. جدول ۲ عبارت زبانی و اعداد فازی متناسب با آنها را نشان می‌دهد.

برای غربالگری شاخص‌ها از ستون میانگین فازی، میانگین حسابی گرفته شد. عدد فازی آن (۴٫۴۵، ۳٫۸۴، ۲٫۵۶) به دست آمد که عدد غیرفازی این حاصل، برابر با ۳٫۶ است، بنابراین شاخص‌هایی که میانگین کمتر از ۳٫۶ را داشتند یعنی حداقل امتیاز را کسب نکرده بودند، حذف شدند. در جدول ۳ مقایسه تعداد شاخص‌ها قبل و بعد از نظرات خبرگان و در شکل ۱ میانگین قطعی شاخص‌های توسعه پایدار نشان داده شده است.

جدول ۱: اطلاعات عمومی پاسخ‌دهندگان بر حسب درصد فروانی

نام متغیر		فراوانی	درصد فراوانی
جنسیت	مرد	۱۴	۱۰۰
	زن	۰	۰
	جمع	۱۴	۱۰۰
سابقه خدمت	کمتر از ۱۰ سال	۰	۰
	بین ۱۰ تا ۱۵ سال	۱۰	۷۲
	بیشتر از ۱۵ سال	۴	۲۸
	جمع	۱۴	۱۰۰
میزان تحصیلات	کارشناسی ارشد	۱۴	۱۰۰
	دکتری	۰	۰
	جمع	۱۴	۱۰۰

جدول ۲: عبارات زبانی و اعداد دلفی فازی

عبارت زبانی	اعداد فازی مثلثی
کاملا نامناسب	(۰،۰،۰٫۲۵)
نامناسب	(۰،۰٫۲۵، ۰٫۵)
تاحدودی مناسب	(۰٫۲۵، ۰٫۵، ۰٫۷۵)
مناسب	(۰٫۵، ۰٫۷۵، ۱)
کاملا مناسب	(۰٫۷۵، ۱،۱)

جدول ۳: مقایسه تعداد شاخص‌ها قبل و بعد از نظرات خبرگان

ردیف	عنوان منظر	تعداد شاخص در هر منظر قبل از نظر خبرگان	تعداد شاخص در هر منظر بعد از نظر خبرگان
۱	رشد و یادگیری	۴	۲
۲	اجتماعی	۱۸	۷
۳	اقتصادی	۱۱	۵
۴	محیط زیست	۴۲	۱۴
	جمع	۷۵	۲۸

شکل ۱: میانگین قطعی شاخص‌های توسعه پایدار

۳-۴- رتبه‌بندی مناظر

با توجه به شناسایی شاخص‌های ارزیابی عملکرد پایدار در معدن و صنایع معدنی، حال با استفاده از روش FANP فازی به رتبه‌بندی SBSC و مناظر شناسایی شده پرداخته می‌شود. برای دستیابی به هدف تحقیق، پرسشنامه‌های مقایسات زوجی طراحی و بین خبرگان توزیع شد. با توجه به رویکرد فازی در این پژوهش، از عبارات کلامی و اعداد فازی مندرج در جدول ۴ استفاده گردید.

جدول ۴: طیف فازی و عبارت کلامی متناظر

تعریف	عدد قطعی	اعداد فازی مثلثی
برتری یکسان	۱	(۰،۰،۰/۲۵)
برتری کم	۳	(۰،۰/۲۵ ،۰/۵)
برتری متوسط	۵	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
برتری زیاد	۷	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)
برتری فوق‌العاده زیاد	۹	(۰/۷۵ ،۱،۱)

۳-۵- روایی و پایایی پرسشنامه

برای بررسی روایی[۱۲] و پایایی[۱۳] پرسشنامه از نظرات کارشناسان و خبرگان استفاده شده است. با توجه به اینکه پرسشنامه تحقیق به صورت مقایسات زوجی بوده، برای سنجش پایایی و روایی از مفهوم نرخ ناسازگاری استفاده می‌شود، بنابراین از روش نرخ ناسازگاری گوگوس و بوچر استفاده شده که در ادامه موضوع به آن اشاره می‌شود.

۳-۶- بررسی نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی

نرخ ناسازگاری[۱۴] شاخصی است که نشان می‌دهد چه میزان مقایسات زوجی انجام شده با هم سازگاری دارند و در

صورتی می‌توان به نتایج مقایسات اعتماد کرد که این مقایسات سازگار باشند. نظرات تصمیم‌گیرندگان مختلف، بهتر است زمانی وارد محاسبات گروهی شود که نرخ ناسازگاری نظریات هر تصمیم‌گیرنده از ۰/۱ کمتر باشد. اگر نرخ ناسازگاری کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد اگر نه، تصمیم‌گیرنده باید در مقایسات زوجی، بازنگری کند. سازگاری ماتریس بیان می‌کند که به چه میزان به اولویت‌هایی که در ماتریس مشخص شده است می‌توان اطمینان کرد. به عبارت دیگر اگر رابطه $aik * akj = aij$ برای یکی از i، j و k ها صادق نباشد ماتریس ناسازگار (consistency) است. گوگوس و بوچر پیشنهاد دادند برای بررسی سازگاری، دو ماتریس (عدد میانی و حدود عدد فازی) از هر ماتریس فازی مشتق و سپس سازگاری هر ماتریس بر اساس روش ساعتی محاسبه شود [۱۲]. مراحل محاسبه نرخ سازگاری ماتریس‌های فازی مقایسه‌های زوجی به قرار زیر است که با توجه به تعداد زیاد پرسشنامه، تنها به روش بررسی نرخ سازگاری در یک پرسشنامه پرداخته شد که به شرح ذیل است:

مرحله ۱: در مرحله اول ماتریس مثلثی فازی را به دو ماتریس تقسیم کنید. ماتریس اول از اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی تشکیل می‌شود ($A^m = [a_{ijm}]$) و ماتریس دوم شامل میانگین هندسی حدود بالا و پایین اعداد مثلثی می‌شود ($A^g = \sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}$).

با استفاده از پرسشنامه طراحی شده از خبره ۱ خواسته شد با استفاده از طیف فازی و عبارت کلامی متناظر برتری هر کدام از مناظر را با یکدیگر مقایسه کنند که به شرح جدول ۵ است. جدول ۶ ماتریس اول از اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی و جدول ۷ ماتریس دوم شامل میانگین هندسی اعداد بالا و پایین اعداد مثلثی را نشان می‌دهد.

مرحله ۲: بردار وزن هر ماتریس را با استفاده از روش ساعتی به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۱: که در آن $w^m = [w_i^m]$

$$w_i^m = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_{ijm}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ijm}} \qquad (۱)$$

رابطه۲: که در آن $w^g = [w_i^g]$

$$w_i^g = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{\sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}}{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}} \qquad (۲)$$

در این مرحله در ابتدا بردار مجموع وزنی ماتریس اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی محاسبه شده که در جدول ۸ نشان داده شده است، سپس بردار وزن ماتریس اعداد میانی محاسبه شده که در جدول ۹ نشان داده شده است. این مرحله برای

جدول ۵: مقایسه مناظر با همدیگر در پرسشنامه ۱

	اقتصاد	اجتماع	محیط زیست	رشد و یادگیری
اقتصاد	(۰،۰،۰/۲۵)	(۰/۷۵ ،۱،۱)	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
اجتماع	(۰/۷۵ ،۱،۱)	(۰،۰ ،۰/۲۵)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)
محیط زیست	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)	(۰،۰ ،۰/۲۵)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
رشد و یادگیری	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)	(۰،۰ ،۰/۲۵)

جدول ۶: ماتریس اول از اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی (Am)

	رشد ویادگیری	محیط زیست	اجتماع	اقتصاد
اقتصاد	۰/۵	۰/۷۵	۱	۰
اجتماع	۰/۷۵	۰/۵	۰	۱
محیط زیست	۰/۵	۰	۰/۷۵	۰/۷۵
رشد و یادگیری	۰	۰/۵	۰/۷۵	۰/۷۵

جدول ۷: ماتریس دوم شامل میانگین هندسی حدود بالا و پایین اعداد مثلثی(Ag)

	اقتصاد	اجتماع	محیط زیست	رشد و یادگیری
اقتصاد	۰	۰/۸	۰/۷	۰/۴
اجتماع	۰/۸	۰	۰/۴	۰/۷
محیط زیست	۰/۷	۰/۷	۰	۰/۴
رشد و یادگیری	۰/۷	۰/۷	۰/۴	۰

بردار وزن ماتریس اعداد میانگین هندسی حدود بالا و پایین قضاوت‌های مثلثی نیز تکرار شده که در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۸: بردار مجموع وزنی اعداد میانی (Wm)

	اقتصاد	اجتماع	محیط زیست	رشد و یادگیری
اقتصاد	۰	۰٫۴	۰٫۴۳	۰٫۲۹
اجتماع	۰٫۴	۰	۰٫۲۹	۰٫۴۳
محیط زیست	۰٫۳	۰٫۳	۰	۰٫۲۹
رشد و یادگیری	۰٫۳	۰٫۳	۰٫۲۹	۰

جدول ۹: بردار وزن ماتریس اعداد میانی (Wm)

معیار	وزن معیار
اقتصاد	۰٫۲۸
اجتماع	۰٫۲۸
محیط زیست	۰٫۲۳
رشد و یادگیری	۰٫۲۳

جدول ۱۰: بردار مجموع وزنی اعداد میانگین هندسی حدود بالا و پایین قضاوت‌های مثلثی (Wg)

	اقتصاد	اجتماع	محیط زیست	رشد و یادگیری
اقتصاد	۰	۰٫۳۶	۰٫۴۶	۰٫۲۶
اجتماع	۰٫۲۶	۰	۰٫۲۶	۰٫۴۶
محیط زیست	۰٫۳۱	۰٫۳۱	۰	۰٫۲۶
رشد و یادگیری	۰٫۳۱	۰٫۳۱	۰٫۲۶	۰

جدول ۱۱: بردار وزن ماتریس اعداد میانگین هندسی حدود بالا و پایین قضاوت‌های مثلثی (Wg)

معیار	وزن معیار
اقتصاد	۰٫۲۷
اجتماع	۰٫۲۷
محیط زیست	۰٫۲۲
رشد و یادگیری	۰٫۲۲

مرحله ۳: محاسبه بزرگترین مقدار ویژه (λmax) برای هر ماتریس

با استفاده از روابط زیر:

رابطه ۳: تعیین بزرگترین مقدار ویژه فازی (λmax) برای ماتریس اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی:

$$\lambda_{\max}^{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ijm}\left(\frac{w_j^m}{w_i^m}\right) \qquad (۳)$$

$\lambda_{max}{}^{m}$	
$\lambda 1$	۱٫۹۹۳۵۸۹۷۴۴
$\lambda 2$	۱٫۹۹۳۵۸۹۷۴۴
$\lambda 3$	۲٫۳۸۷۰۹۶۷۴۴
$\lambda 4$	۲٫۳۸۷۰۹۶۷۴۴

$\lambda_{max}{}^{m}$ =۲٫۱۹۰۳۴۳۲۵۹

رابطه ۴: تعیین بزرگترین مقدار ویژه فازی (λmax) برای ماتریس اعداد میانگین هندسی حدود بالا و پایین قضاوت‌های مثلثی:

$$\lambda_{\max}^{g} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}\left(\frac{w_j^g}{w_i^g}\right) \qquad (۴)$$

$\lambda_{max}{}^{g}$	
$\lambda 1$	۱٫۷۰۵۵۲۴۸۶۲
$\lambda 2$	۱٫۷۰۵۵۲۴۸۶۲
$\lambda 3$	۲٫۱۰۰۶۷۱۱۴۱
$\lambda 4$	۲٫۱۰۰۶۷۱۱۴۱

$\lambda_{max}{}^{g}$ =۱٫۹۶۸۹۵۵۷۱۵

مرحله ۴: تعیین شاخص سازگاری ماتریس اعداد میانی و اعداد میانگین هندسی حدود بالا و پایین قضاوت‌های مثلثی

$$CI^{m} = \frac{(\lambda_{\max}^{m} - n)}{(n-1)} \qquad (۵)$$

CI^{m} =-۰٫۶۰۳۲۱۸۹۱۴

$$CI^{g} = \frac{(\lambda_{\max}^{g} - n)}{(n-1)} \qquad (۶)$$

CI^{g} =-۱٫۳۳۳۳۳۳۳۳۳

مرحله ۵: برای محاسبه نرخ ناسازگار (Consistency)(CR Rate)، شاخص CI را بر مقدار شاخص تصادفی (RI) تقسیم می‌کنیم. در صورتی که مقدار حاصل کمتر از ۰/۱ باشد، ماتریس سازگار و قابل استفاده تشخیص داده می‌شود. ساعتی برای به دست آوردن مقادیر شاخص‌های تصادفی (Random)(RI Index)، ۱۰۰ ماتریس را با اعداد تصادفی و با شرط متقابل بودن ماتریس‌ها تشکیل داده و مقادیر ناسازگاری و میانگین آن‌ها را محاسبه کرد، اما از آنجا که مقادیر عددی مقایسه‌های فازی همواره عدد صحیح نیستند و حتی در اینصورت هم میانگین هندسی، آن‌ها را عموما به اعداد غیرصحیح تبدیل می‌کند، حتی در صورت استفاده از مقیاس (۹-۱) ساعتی نیز نمی‌توان از جدول شاخص‌های تصادفی (RI) ساعتی استفاده کرد، بنابراین گوگوس و بوچر با تولید ۴۰۰ ماتریس تصادفی مجددا جدول شاخص‌های تصادفی (RI) (جدول ۱۲) را برای ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی فازی تولید کردند.

جدول ۱۲: جدول شاخص‌های تصادفی (RI)

اندازه ماتریس	RI^m	RI^g
۱	۰	۰
۲	۰	۰
۳	۰/۴۸۹۰	۰/۱۷۹۶
۴	۰/۷۹۳۷	۰/۲۶۲۷
۵	۱/۰۷۲۰	۰/۳۵۹۷
۶	۱/۱۹۹۶	۰/۳۸۱۸
۷	۱/۲۸۷۴	۰/۴۰۹۰
۸	۱/۳۴۱۰	۰/۴۱۶۴
۹	۱/۳۷۹۳	۰/۴۳۴۸
۱۰	۱/۴۰۹۵	۰/۴۴۵۵
۱۱	۱/۴۱۸۱	۰/۴۵۳۶
۱۲	۱/۴۴۶۲	۰/۴۷۷۶
۱۳	۱/۴۵۵۵	۰/۴۶۹۱
۱۴	۱/۴۹۱۳	۰/۴۸۰۴
۱۵	۱/۴۹۸۶	۰/۴۸۸۰

برای تولید ماتریس‌های تصادفی ابتدا مقدار میانی عدد فازی مثلثی به صورت تصادفی در بازه $[\frac{1}{9},9]$ و به صورت متقابل تولید شد، سپس مقدار حد پایین هر عدد مثلثی در بازه[مقدار میانی تولید شده و $\frac{1}{9}$] و مقدار حد بالای آن در بازه [$\frac{1}{9}$ و مقدار میانی تولید شده] به صورت تصادفی تولید و در نهایت با تقسیم ماتریس تصادفی حاصل به دو ماتریس حد میانی و میانگین هندسی حدود بالا و پایین، مقدار شاخص تصادفی آن‌ها به دست آمد. شاخص تصادفی آن‌ها به دست آمد. نکته قابل توجه این‌که مقدار ناسازگاری در ستون R^m بیشتر از R^g است. این تفاوت بدین جهت است که دامنه اعداد تصادفی تولید شده برای حد میانی $[\frac{1}{9},9]$ است، اما دامنه اعداد تصادفی حدود بالا و پایین بر اساس عدد میانی تولید شده، محدودتر است و بنابراین احتمال کمتری برای ناسازگاری در آن‌ها وجود دارد.

با محاسبه نرخ ناسازگاری برای دو ماتریس بر اساس روابط ۷ و ۸، آن‌ها را با آستانه ۰/۱ مقایسه می‌کنیم:

$$CR^g = \frac{CI^g}{RI^g} \quad (۷)$$

$RI^g = ۰/۲۶۲$

$CR^g = -۵/۰۷$

$$CR^m = \frac{CI^m}{RI^m} \quad (۸)$$

$RI^m = ۰/۷۹۳۷$

$CR^m = -۰/۷۶$

با توجه به اینکه هر دوی این شاخص‌ها کمتر از ۰/۱ بودند، ماتریس فازی سازگار است در صورتی که هر دو بیشتر از ۰/۱ بودند، از تصمیم گیرنده تقاضا می‌شود تا در اولویت‌های ارایه شده تجدیدنظر کند و در صورتی که تنها (CR^g) CR^m بیشتر از ۰/۱ بود، تصمیم‌گیرنده تجدید نظر در مقادیر میانی (حدود) قضاوت‌های فازی را انجام می‌دهد. با توجه به بررسی صورت گرفته، تمامی پرسشنامه‌ها سازگار هستند.

۳-۷- تعیین میانگین هندسی ماتریس‌های مقایسات زوجی برای تعیین وزن نهایی فازی و وزن قطعی نهایی هر منظر

در تشکیل ماتریس مقایسات زوجی برای پرهیز از هر گونه نگرش جانبدارانه، از تصمیم گروهی استفاده شد و برای لحاظ قرار دادن نگرش‌ها و قضاوت‌های اعضای گروه در ماتریس مقایسات زوجی از روش میانگین هندسی قضاوت‌های فردی استفاده شد (به دلیل زیاد بودن جدول مقایسات زوجی از ذکر آن خودداری شد). با استفاده از محاسبه میانگین هندسی برای هر آرایه ماتریس مقایسات زوجی معیارها حاصل شد که در جدول ۱۳ آورده شده است.

پس از نرمالیزه کردن ماتریس میانگین هندسی مقایسات زوجی و محاسبه میانگین حسابی هر سطر، وزن مناظر به دست آمد. جدول ۱۴ جدول نرمالیزه شده است.

ماتریس مقایسات زوجی چهار منظر اصلی کارت امتیازی متوازن و جدول ۱۴ اوزان محاسبه شده چهار معیار اصلی به روش FANP است. وزن نسبی مناظر پایداری که برابر میانگین حسابی هر سطر است به صورت فازی به شرح جدول ۱۵ به دست آمد.

۳-۸- تعیین وزن پایداری

وزن نهایی هر یک از مناظر از حاصل‌ضرب وزن فازی مناظر کارت امتیازی متوازن پایداری و همچنین امتیازات شاخص‌ها تعیین می‌شود.

(۹) امتیازات شاخص‌ها*وزن مناظر = وزن پایداری

۴- نتیجه‌گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر شناسایی، رتبه‌بندی و امتیازبندی عوامل موثر بر پایداری و در نهایت تدوین الگوی جامع ارزیابی عملکرد پایداری در معدن و صنایع معدنی بوده است. علاوه بر آن این پژوهش در تلاش برای قاعده‌مند ساختن چالش‌هایی است که امتیازبندی پایداری در شرکت‌ها با آن روبه‌رو شده‌اند، است. نداشتن استاندارد، نداشتن اعتبار اطلاعات، جهت‌گیری، نبود شفافیت و نبود استقلال از جمله این چالش‌هاست. مطالعه حاضر با ارایه یک مدل نظری پیشرفته اندازه‌گیری عملکرد پایداری به شکل SBSC با چهار منظر، اقتصاد، اجتماع، محیط زیست و رشد و یادگیری کمک کرده است. در این پژوهش از مجموعه‌های فازی که سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضا مهم انسانی را دارند استفاده شد. اعداد مورد استفاده در این پژوهش اعداد فازی مثلثی بودند. همچنین برای رتبه بندی عوامل موثر بر پایداری از

جدول ۱۳: میانگین هندسی مقایسات زوجی

	اقتصاد	اجتماع	محیط زیست	رشد و یادگیری
اقتصاد	(۰،۰،۰/۲۵)	(۰ ،۰/۵۲ ،۰/۷۵)	(۰ ،۰/۵۷ ،۰/۸۴)	(۰ ،۰/۳۸ ،۰/۶۴)
اجتماع	(۰/۶ ،۰/۸ ،۱)	(۰،۰،۰/۲۵)	(۰،۰/۴۲ ،۰/۶۸)	(۰ ،۰/۵۶ ،۰/۸)
محیط زیست	(۰ ،۰/۵۶ ،۰/۷۸)	(۰/۵ ،۰/۱۶ ،۰/۹۵)	(۰،۰،۰/۲۵)	(۰ ،۰/۴ ،۰/۶۶)
رشد و یادگیری	(۰ ،۰/۵۹ ،۰/۸۳)	(۰/۶۴ ،۰/۸۹ ،۱)	(۰ ،۰/۵ ،۰/۶۹)	(۰،۰،۰/۲۵)

جدول ۱۴: نرمال‌سازی ماتریس میانگین هندسی مقایسات زوجی

	ستون نرمال شده اول	ستون نرمال شده دوم	ستون نرمال شده سوم	ستون نرمال شده چهارم
اقتصاد	(۰/۴۲ ،۰،۰)	(۰ ،۰/۳۴ ،۰/۶۶)	(۰ ،۰/۳۹ ،۰)	(۰،۰،۰)
اجتماع	(۱/۶۷ ،۰/۴۲ ،۰/۲۳)	(۰/۲۲ ،۰،۰)	(۰ ،۰/۲۹ ،۰)	(۰،۰،۰)
محیط زیست	(۱/۳ ،۰/۲۹ ،۰)	(۰/۸۴ ،۰/۱ ،۰/۱۷)	(۰،۰،۰)	(۰،۰،۰)
رشد و یادگیری	(۱/۳۹ ،۰/۳ ،۰)	(۰/۸۸ ،۰/۵۷ ،۰/۲۲)	(۰ ،۰/۳۴ ،۰)	(۰،۰،۰)

جدول ۱۵: وزن نهایی مناظر کارت امتیازی متوازن پایداری

منظر	میانگین وزن نهایی فازی	وزن قطعی نهایی شده
اقتصاد	(۰/۲۷ ،۰/۱۹ ،۰)	۰/۱۶
اجتماع	(۰/۴۸ ،۰/۱۸ ،۰/۶)	۰/۲۴
محیط زیست	(۰/۶ ،۰/۰۱ ،۰/۰۴)	۰/۲۲
رشد و یادگیری	(۰/۵۵ ،۰/۳ ،۰/۵۷)	۰/۴۸

روش تحلیل شبکه‌ای فازی استفاده شد. با مطالعه مقالات مختلف و بررسی ادبیات پژوهش، عملیات تعیین شاخص‌های مربوط به هر یک از چهار منظر از مناظر اصلی روش کارت امتیازی متوازن پایداری شامل منظرهای اجتماعی، محیط زیستی، اقتصادی و رشد و یادگیری انجام گرفت که نتیجه آن شناسایی ۷۵ شاخص اولیه بود. پس از مشورت با خبرگان عوامل تاثیرگذار شناسایی شده در عملکرد پایدار در معدن و صنایع معدنی در قالب پرسشنامه تحلیل و شاخص‌ها از نظر قابل پژوهش بودن و مرتبط بودن بررسی شد. در این تجزیه و تحلیل شاخص‌هایی که میانگین وزن آن‌ها بیشتر از ۳٫۶ به عنوان شاخص مناسب در نظر گرفته شد که در نهایت ۲۸ شاخص به عنوان شاخص نهایی انتخاب شد. وزن هر یک از منظرها در ارزیابی عملکرد پایداری صنعت معدن در قالب روش FANP و استفاده از پرسشنامه مقایسات زوجی وزن هر کدام از مناظر تعیین شد. با توجه به اینکه پرسشنامه تحقیق به صورت مقایسات زوجی بوده، برای سنجش پایایی یا روایی آن از مفهوم نرخ ناسازگاری استفاده شد. نرخ ناسازگاری با استفاده از روش گوگوس و بوچر برآورد گردید که کلیه مقادیر کمتر از ۰٫۱ و سازگار بودند. ارزیابی صورت پذیرفته شاخص‌های ارزیابی عملکرد پایداری در معدن و صنایع معدنی، نشان داده شده از شاخص‌های SBSC شناسایی شده، شاخص«تعداد روزهای از دست رفته » با میانگین وزن ۱۰٫۹ در رتبه اول و شاخص « تعداد کل ضایعات تولیدی » با میانگین وزن ۷٫۷۳ در رتبه دوم و شاخص‌های «مدیریت باطله» و «تلاش درجهت بازسازی معدن»» با وزن ۵٫۹ در رتبه سوم قرار دارند. نتایج تحقیق نشان داد که در میان مناظر کارت امتیازی متوازن پایداری منظر « رشد و یادگیری » با میانگین وزن ۰٫۴۸ نسبت به سایر مناظر برتری داشته است منظر «اجتماع» با میانگین وزن ۰٫۲۴ در رتبه دوم، منظر «محیط زیست» با میانگین وزن ۰٫۲۲ در رتبه سوم و در نهایت منظر «اقتصاد» با میانگین وزن ۰٫۱۶ در رتبه چهارم نسبت به سایر مناظر قرار دارد.

۵- مراجع

[۱] نوروزی فرد، پ.، میرسنجری، م. م.؛ ۱۳۹۷؛ "**برآورد توانمندی توسعه پایدار با کاربرد شاخص‌های منفرد و ترکیبی**". نشریه علمی محیط زیست و توسعه انجمن ارزیابی محیط زیست ایران، سال نهم، شماره ۱۸، ص ۸۰-۶۷.

[۲] عالم تبریز، ا.، محمدی، ا. س.، پیشوایی، م. س.؛۱۳۹۲؛ "**ارزیابی پایداری صنعت معدن بارویکرد کارت امتیازی متوازن_ تحلیل سلسله مراتبی(AHP_BSC)**". فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال یازدهم، شماره ۲۸، ص ۴۰-۲۱.

[۳] عبدالمالکی، م. ج.، سالاری، م.، عبدالمالکی، س.؛ ۱۴۰۲؛ "**بررسی شاخص‌های پایداری زیست محیطی با تاکید بر معادن**". نشریه مطالعات محیط‌زیست انجمن ارزیابی محیط زیست ایران، دوره هشتم، شماره ۴، ص ۷۲۷۲-۷۲۶۴.

[4] Erechtchoukova, M., Khaiter, P. A., and Golinska, P. (2013). *"Sustainability appraisal: quantitative methods and mathematical techniques for environmental performance evaluations"*. Springer Berlin, Heidelberg, pp. 254. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-32081-1.

[5] Nan, C. (2009). *"Sustainabity performance Evaluation system in Government; A Balance Score Card Approch Toward Sustainable Development"*. Springer Dordrecht, pp. 177. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-3012-2.

[۶] انواری، ر.، حشمتی، ع. ا.، شاوردی، م.، بشیری، و.؛ ۱۳۹۱؛ "**ارزیابی عملکرد به کمک فرآیند تحلیل شبکه فازی (FANP) و کارت امتیازی متوازن(BSC) مطالعه موردی: شرکت پتروشیمی اصفهان**". فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، شماره ۲۱، ص ۲۲-۹.

[۷] ایرج پور، ع.، حاجی لو، م.؛ ۱۳۹۵؛ "**شناسایی و اولویت بندی شاخص‌های ارزیابی عملکرد سازمانی بر اساس روش‌های کارت امتیازی متوازن پایدار(SBSC) و MCDM با استفاده از متغیرهای زبانی**". مجله مدیریت توسعه و تحول، شماره ۲۴، فرودین ۱۳۹۵، ص ۹۴-۸۱.

[8] Mio, C., Costantini, A., and Panfilo, S. (2021). *"Performance measurement tools for sustainable business: A systematic literature review on the sustainability balanced scorecard use"*. Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 29(2): 367-384.

[9] Figge, F., Hahn, T., Schaltegger, S., and Wanger, M. (2002). *"Development of a sustainability balanced scorecard:translating strategy into value based sustainability management"*. Center for Sustainability Management, University of Lueneburg, Germany, 1-14.

[۱۰] مولوی وردجانی، ر.، رفعتی، م.، زعیم‌دار، م.؛ ۱۳۹۹؛ "**ارزیابی عملکرد سیستم مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست در کارخانه شیر خشک پگاه شهرکرد با رویکرد کارت امتیازی متوازن**". فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره ۹، ص ۱۲۵-۱۱۶.

[۱۱] محمدی اشنانی، م. ح.، میرعمادی، ط.، دانه‌کار، ا.، مخدوم فرخنده، م.، ماجد، و.؛ ۱۳۹۹؛ "**سیاست‌های اقتصاد یادگیرنده جهت دستیابی به توسعه‌پایدار**". فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره بیست و دوم، شماره ۲، ص ۲۷۴-۲۲۳.

[12] Gogus, O., and Boucher, T. O. (1998). *"Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons"*. Fuzzy Sets and Systems, 94(1): 133-144.

---

[1] Global Reporting Initiative (GRI)

[2] Blance Score Card (BSC)

[3] Analytical Hierarchy Process (AHP)

[4] Analytic Network process (ANP)

[5] Sustainability Balance Score Card

[6] Sustainable Development Perspective

[7] Economic Perspective

[8] Environmental Perspective

[9] Social Perspective

[10] Learning & Growth Perspective

[11] Performance Measurement System

[12] Validity

[13] Reliability

[14] Consistency Rate