Vol 20, No 1, 2025, pp 99-131

Journal of Mining Engineering
انجمن مهندسی معدن ایران
Iranian Society of Mining Engineering (IRSME)
Print ISSN:1735-7616 Online ISSN:2676-4482

Research article DOI: 10.22034/IJME.2025.2049506.2031 OPEN ACCESS

Improving Preparation and Extraction Sections in Underground Coal Mines Using Value Stream Mapping

Keramat Ghanbari Teylami[1], Mohammad Ataei[2]*, Farhang Sereshki[2], Ali Nouri Qarahasanlou[3], Abbas Barabadi[4]

[1] Ph.D. Candidate, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[2] Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[3] Postdoctoral Researcher, Department of Engineering and Safety, University of Tromsø, N-9037 Tromsø, Norway
[4] Professor, Department of Engineering and Safety, University of Tromsø, N-9037 Tromsø, Norway

Article info

Received: 17 May 2025
Revised: 16 August 2025
Accepted: 21 August 2025

Keywords
Lean Production
Value Stream Mapping
Wastes
Development and Exploitation Section
Underground Coal Mines
Eastern Alborz Coal Mines

***Corresponding author**
Mohammad Ataei
ataei@shahroodut.ac.ir

Abstract

Implementing lean production principles in industrial processing units has a direct and significant impact on improving their competitive position and profitability. By reducing production time, achieved through minimizing hidden and apparent losses and streamlining workflows, these units gain valuable time and resources while indirectly lowering product costs. This study aims to identify opportunities for process improvement and optimization in the development and exploitation section of non-mechanized underground coal mines using the Value Stream Mapping (VSM) method in the Eastern Alborz Coal Mining Company. A VSM utilizing lean production tools was then designed to address these inefficiencies. This quantitative research collected data through field measurements, recording the time required for each action from start to finish within the development and exploitation section. Through brainstorming sessions and group discussions with relevant experts, a process map was created and analyzed, and waste sources were identified. The results indicated that the average total cycle time for the development and exploitation section was 10469 minutes, with 245 minutes attributed to waiting waste. After identifying the waste sources, appropriate solutions were proposed. The study concludes that lean production is a practical approach for analyzing processes, enhancing efficiency, reducing waiting times, and maximizing value to improve process flow.

How to cite this article

Ghanbari, K., Ataei, M., Sereshki, F., Nouri, A., Barabadi, A., 2025, Improving Preparation and Extraction Sections in Underground Coal Mines Using Value Stream Mapping, Journal of Mining Engineering. 20(1): 99-131. (in Persian with English Abstract)
https://doi.org/10.22034/ijme.2025.2061000.2047

©2025 The author(s). Published by Iranian Society of Mining Engineering.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

EXTENDED ABSTRACT

1- Introduction

As coal remains a vital energy source worldwide, its extraction and production processes carry significant economic implications. The intricacies of coal mining, whether conducted underground or through open-pit methods, expose workers to challenging conditions and hazardous environments, emphasizing the importance of optimizing operational efficiency (Saffari et al., 2013; 2017). With production planning often structured around rigid annual schedules, the reliance on traditional methods, such as the pressure method, can lead to inflated production costs, hindering competitiveness in the global market (Yusefi & Ramazi, 2019).

In this field, the literature consists of many studies such as, Zahraee et al. (2013), Al-Odeh et al. (2014), Zahraee et al. (2014), Rohani & Zahraee (2015). Zahraee (2016), Verma et al. (2021), Zahraee et al. (2021), Gunaki et al. (2022), Wang et al. (2023), carried out in recent years aiming to decrease the cost and shorten production projects' cycle time. Thus, one of the main objectives of research in the mining field is the minimization of project cost and cycle time and, simultaneously, considering limitations of available resources and the due date of the project in hand .

The aim of this study is using the Value Stream Mapping (VSM) to identify inefficiencies and apply lean principles for enhancing development and exploitation within the Eastern Alborz Coal Mines Company (EACMCO). The research encompasses a comprehensive approach, including physical observations, current VSM, waste identification, improvement suggestions, future state mapping, and process redesign based on waste elimination, culminating in executive solutions aimed at eliminating losses and wastage in the development and exploitation section of underground coal mines within the EACMCO. This contribution seeks to propel the ongoing discourse on lean production in mining contexts, ensuring continued efficiency and competitiveness within the industry.

In summary, the goal of this paper is to apply one of the most significant lean manufacturing techniques called VSM to improve the production line of development and exploitation sections in underground coal mines as a case study, and to how VSM can be used to identify and eliminate the most significant waste within development and exploitation section process, leading to improved efficiency and customer satisfaction.

2- Methodology

The current study, characterized by its descriptive and applied nature, scrutinizes the current and anticipated states of the development and exploitation section within the underground coal mines operated by EACMCO. This investigation hinges on collaborative teamwork between the researcher and research group members, all operating within the authentic working conditions of EACMCO. Engaging in a cyclical process of planning, action, observation, measurement, and feedback, researchers aim to discern time losses and their underlying causes within the development and exploitation section of these mines. The primary objective is twofold: to identify time losses and their origins, and subsequently, to streamline material flow within the value stream, thereby reducing production time and costs. This endeavor unfolds through a series of steps, including:

- Selecting a specific product group for review and evaluation.
- It is assessing the current state of the company's production of the examined product.
- Quantifying losses using the current state map.
- Analyzing the underlying causes of current losses.
- Proposing solutions to mitigate or eliminate losses.
- Formulating a future state map based on proposed solutions.

To gather requisite information and data, the research draws upon the 20-year experience of the lead researcher and mining colleagues, collaborative observations, and document reviews, including daily operation logs, mining operations records, and meetings. Additionally, a range of analytical methods such as logical analysis, Kaizen meetings, worker and expert interviews, value flow mapping, fishbone diagrams (to ascertain cause-effect relationships), bar diagrams (for assessing system inefficiencies and identifying waste), time data tapes, and cumulative review of tables and charts are employed.

3- Findings and Argument

After identifying the various processes in the development and exploitation section and field measurements, in order to consult and use the experiences of experts in determining the losses and types of losses in this section, the factors of losses in different and multiple brainstorming sessions were determined and provided to the experts and senior managers of EACMCO in the form of questionnaires.

Figure (1) shows the types of time waste in different processes in the development and exploitation section of the underground coal mines of Eastern Alborz along with the type of waste. As can be seen from this figure, the most frequent waste is related to waiting waste with 52 repetitions, followed by the defects processes, over processing, and knowledge disconnection with 11, 8, and 6 repetitions, respectively.

Examining the VSM of the current state in the development and exploitation section of EACMCO shows that this company is in an optimal state regarding the number of human resources in this section, however section has a high volume of time losses. The aim of drawing the VSM of the future state is to eliminate wastes that extended the processes of the development and exploitation section; therefore, in order to eliminate or reduce these losses, several corrective or Kaizen bursts have been presented to reduce the times. Also, the resulting times after implementing these Kaizen are given under the title A/T in Table (1). The time cycle and production waiting time in VSM (current and future status) in the development and exploitation section of EACMCO is given Table (1).

After the implementation of the Kaizen burst, the Wood Supply process time was decreased from 693 minutes to 480 minutes, the Man Way Gallery Drilling process time was decreased from 1260 minutes to 900 minutes, the Drilling of the Main Raise process time was decreased from 4200 minutes to 3360 minutes, the 2nd Gallery Drilling process time was decreased from 1330 minutes to 900 minutes, the Drilling, … process time was decreased from 2181 minutes to 2000 minutes, the Discharge process time was decreased from 560 minutes to 480 minutes, and the time between Drilling of the Main Raise and 2nd Gallery Drilling processes was decreased from 70 minutes to 25 minutes, which reduced the total lead time from 10469 minutes to 8206 minutes, and the total process time was reduced from 22 shifts to 17 shift.

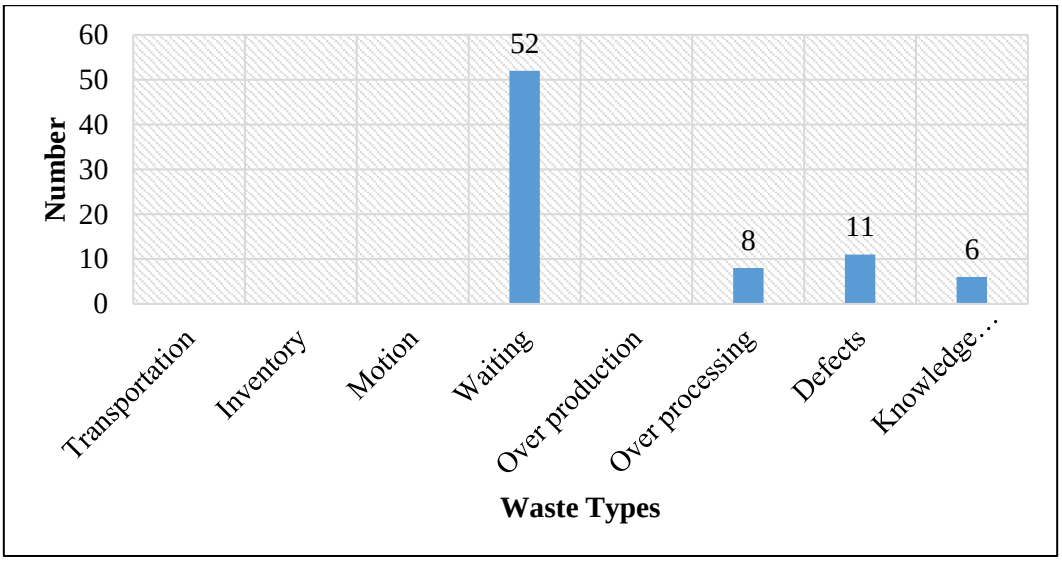


Figure 1- Diagram of types of time losses in different processes are described in the "Development and Exploitation" section of EACMCO

Table 1- Different sections of the timetable in the time cycle and production waiting time in VSM (current and future status) in the "Development and Exploitation" section of EACMCO

	Process 1	Between Processes Waiting	Process 2	Between Processes Waiting	Process 3	Between Processes Waiting	Process 4	Between Processes Waiting	Process 5	Between Processes Waiting	Process 6	Lead Time	Total Cycle Time	Total Wait Time
	Wood Supply		Man Way Gallery Drilling		Drilling of the Main Raise		2nd Gallery Drilling		Drilling, …		Discharge			
Man Forces	**2**		**2**		**3**		**2**		**5**		**1**			
Cycle Time (C/T)	**11:33:00**	**0:50:00**	**21:00:00**	**0:45:00**	**70:00:00**	**0:70:00**	**22:10:00**	**0:40:00**	**36:21:00**	**0:40:00**	**9:20:00**	**174:29:00**	**170:24:00**	**4:05:00**
Actual Time (A/T)	**8:00:00**	**0:20:00**	**15:00:00**	**0:15:00**	**56:00:00**	**0:25:00**	**15:00:00**	**0:14:00**	**33:20:00**	**0:12:00**	**8:00:00**	**136:46:00**	**135:20:00**	**1:26:00**
C/A (%)	**144.38**	**250.00**	**140.00**	**300.00**	**125.00**	**280.00**	**147.78**	**285.71**	**109.05**	**333.33**	**116.67**			

4- Conclusions

The main aim of this study is to demonstrate the application of value stream mapping (VSM) in moving towards lean manufacturing in the development and exploitation section of non-mechanized underground coal mines in the Eastern Alborz Coal Mining Company, in a way, to design a lean production system with an emphasis on value stream mapping methods.

Initially, the sources of waste were identified and types of waste were determined in the form of 39 items and 8 types of waste for each waste were also determined. The most frequent waste was related to waiting waste with 52 repetitions, followed by defects processes, over processing, and knowledge disconnection with 11, 8, and 6 repetitions, respectively. The purpose of drawing a future value stream map is to eliminate wastes that extended the processes in this section; therefore, to eliminate or reduce these losses, several corrective or Kaizen suggestions were presented in the continuation of the research to reduce inter-process time and process execution time.

After implementing corrective Kaizens, the total process time was reduced from 10224 minutes to 8120 minutes, the inter-process time of the wood supply and discharge processes was reduced from 245 minutes to 86 minutes, and the total time of the development and exploitation section was reduced from 10469 minutes to 8206 minutes, and the total process time was reduced from 22 shifts to 17 shifts.

5- References

[1] Al-Odeh, M., McLeod, A., Badar, M. A., & Affan, M. (2015). Value stream mapping: recreating an industrial environment in an educational setting. Technol. Interf. Int. J, 15(2), 22-31.

[2] Gunaki, P., Devaraj, S., & Patil, S. (2022). Process optimization by value Stream Mapping. Materials Today: Proceedings, 54, 251-254.

[3] Rohani, J. M., & Zahraee, S. M. (2015). Production line analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industry. Procedia Manufacturing, 2, 6-10.

[4] Saffari, A., Sereshki, F., Ataei, M., & Ghanbari, K. (2013). Applying rock engineering systems (RES) approach to evaluate and classify the coal spontaneous combustion potential in Eastern Alborz coal mines. International Journal of Mining and Geo-Engineering, 47 (2), 115-127.

[5] Saffari, A., Sereshki, F., Ataei, M., & Ghanbari, K. (2017). Presenting an engineering classification system for coal spontaneous combustion potential. International Journal of Coal Science & Technology, 4, 110-128.

[6] Verma, N., Sharma, V., & Badar, M. A. (2021). Entropy-based lean, energy and six sigma approach to achieve sustainability in manufacturing system. Arabian Journal for Science and Engineering, 46 (8), 8105-8117.

[7] Wang, C. N., Vo, T. T. B. C., Chung, Y. C., Amer, Y., & Truc Doan, L. T. (2023). Improvement of Manufacturing Process Based on Value Stream Mapping: A Case Study. Engineering Management Journal, 1-19.

[8] Yusefi, A., & Ramazi, H. R. (2019). A programming method to estimate proximate parameters of coal beds from well-logging data using a sequential solving of linear equation systems. Journal of Mining and Environment, 10 (3), 633-647.

[9] Zahraee, S. M. (2016). A survey on lean manufacturing implementation in a selected manufacturing industry in Iran. International Journal of Lean Six Sigma, 7 (2), 136-148.

[10] Zahraee, S. M., Esrafilian, R., Kardan, R., Shiwakoti, N., & Stasinopoulos, P. (2021). Lean construction analysis of concrete pouring process using value stream mapping and Arena based simulation model. Materials Today: Proceedings, 42, 1279-1286.

[11] Zahraee, S. M., Hashemi, A., Abdi, A. A., Shahpanah, A., & Rohani, J. M. (2014). Lean manufacturing implementation through value stream mapping: A case study. Jurnal Teknologi, 68 (3), 119-124.

[12] Zahraee, S. M., Hatami, M., Yusof, N. M., Rohani, J. M., & Ziaei, F. (2013). Combined use of design of experiment and computer simulation for resources level determination in concrete pouring process. Jurnal Teknologi, 64 (1).

دوره ۲۰، شماره ۱، ۱۴۰۴، صفحه ۹۹-۱۳۱

نشریه مهندسی معدن

انجمن مهندسی معدن ایران
Iranian Society of Mining Engineering (IRSME)

شاپا چاپی: ۷۶۱۶-۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۴۴۸۲-۲۶۷۶

مقاله پژوهشی DOI: 10.22034/ijme.2025.2061000.2047 OPEN ACCESS

بهبود بخش آماده‌سازی و استخراج در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با استفاده از نقشه جریان ارزش

کرامت قنبری تیلمی[۱]، محمد عطائی[۲*]، فرهنگ سرشکی[۲]، علی نوری قراحسنلو[۳]، عباس برآبادی[۴]

[۱] دانشجوی دکترای استخراج معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

[۲] استاد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

[۳] محقق پسادکتری، دانشکده مهندسی و ایمنی، دانشگاه ترومسو، نروژ

[۴] استاد، دانشکده مهندسی و ایمنی، دانشگاه ترومسو، نروژ

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

واژه‌های کلیدی

تولید ناب
نقشه جریان ارزش
هدر رفت‌ها
بخش آماده‌سازی و استخراج زغال سنگ
معادن زیرزمینی زغال‌سنگ
معادن زغالسنگ البرز شرقی

نویسنده مسئول*
محمد عطائی
ataei@shahroodut.ac.ir

چکیده

اجرای تولید ناب در واحدهای معدنی تأثیر مستقیم در ارتقای جایگاه رقابتی این واحدها و سودآور بودنشان دارد. کاهش زمان تولید که از طریق کاهش تلفات پنهان و آشکار و هموارسازی روند کار اتفاق می‌افتد، منابع زمانی و تولیدی زیادی را در اختیار این واحدها قرار داده و به طور غیرمستقیم باعث کاهش قیمت تمام‌شده محصولات می‌شود. هدف از مطالعه حاضر، شناسایی فرصت‌های بهبود و ارتقاء فرآیندهای بخش آماده‌سازی و استخراج در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ غیر مکانیزه با استفاده از روش نقشه جریان ارزش در شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی است. این مطالعه یک پژوهش کمّی است و داده‌های مورد نیاز از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی جمع‌آوری شده است. زمان سپری شده برای هر اقدام، از زمان شروع تا انتهای هر فرآیند در بخش آماده‌سازی و استخراج اندازه‌گیری و در نقشه جریان ارزش ثبت شد. پس از آن در جلسات بحث گروهی با حضور کارشناسان و مدیران، نقشه ترسیم و تحلیل شد و منابع اتلاف شناسایی شد و با استفاده از ابزارهای تفکر ناب، نقشه جریان ارزش طراحی شد. نتایج نشان داد که کل زمان یک برش کامل در روش استخراج جبهه کار طویل تخریبی در کارگاه استخراج به طول متوسط ۱۰۰ متر با شیب ۳۵ تا ۴۵ درجه با ضخامت ماده معدنی ۹۰ سانتی‌متر و عرض برش ۸۰ سانتی‌متر به همراه حفر دو عدد گالری نفررو به طول متوسط هر یک ۱۳ متر و حفر دویل اصلی به طول ۱۱۲ متر و با در نظر گرفتن زمان چوب‌رسانی به طور میانگین ۱۰۴۶۹ دقیقه بود که ۲۴۵ دقیقه آن زمان در انتظار بود. بعد از شناسایی منابع اتلاف، ابزار مناسب برای رفع آن پیشنهاد شد. مجدداً زمان سپری شده برای هر اقدام، از زمان شروع تا انتهای هر فرآیند اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که زمان کل به ۸۲۰۶ دقیقه و زمان انتظار بین فرآیندی به ۸۶ دقیقه تقلیل یافت و مدت زمان کل فرآیند از ۲۲ شیفت کاری به ۱۷ شیفت کاری کاهش یافت. از مجموع مراحل انجام شده چنین نتیجه‌گیری شد که تفکر ناب یک رویکرد برای تحلیل فرآیندها و بهبود کارآیی با تمرکز بر کاهش زمان انتظار و خلق حداکثر ارزش است تا سیر حرکت فرآیندی را بهبود بخشد.

استناد به این مقاله:

قنبری تیلمی، کرامت؛ عطائی، محمد؛ سرشکی، فرهنگ؛ نوری قراحسنلو، علی؛ برآبادی، عباس؛ ۱۴۰۴. بهبود بخش آماده‌سازی و استخراج در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ با استفاده از نقشه جریان ارزش. نشریه مهندسی معدن، ۲۰(۱): ۹۹-۱۳۱.
https://doi.org/10.22034/ijme.2025.2061000.2047

۱- مقدمه

امروزه به خاطر افزایش تمرکز بر توسعه و پیچیدگی‌های بازار و همچنین محدودیت‌های اقتصادی، استفاده‌ی بهینه از منابع در دسترس و شناخت فعالیت‌های ارزش‌آفرین برای مشتریان و پاسخ‌گویی به موقع به خواسته‌های مشتریان در بخش‌های گوناگون بازار، به امری اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده و سازمان‌ها را بر آن داشته است تا با حذف ساختار و روش‌های کار سنتی، با افزایش سطح رضایت مشتریان، سهم خود را در بازار حفظ کنند. این عامل‌ها باعث می‌شود تا سازمان‌ها به سمت تولید ناب حرکت کنند .[۱].

مدیریت ناب رویکردی است که در آن حتی کوچک‌ترین تلفات شناسایی شده تا ارزش‌ها بدون تأخیرهای غیرضروری و با کمترین هزینه فراهم آید. بسیاری از سازمان‌ها، تولید ناب را به عنوان رویکرد بهبود عملکرد برای سیستم‌هایشان اتخاذ کرده‌اند. از مهم‌ترین و پرکاربردترین ابزارهای ناب، نقشه جریان ارزش است که از آن به عنوان رابط و پلی بین مفاهیم و روش‌های ناب یاد می‌شود .[۲].

نقشه‌برداری جریان ارزش ابزاری است که برای بهبود کیفیت و پیاده‌سازی بنیاد تولید ناب، بسیار مهم و اساسی است و تاکنون مدل‌های گوناگونی برای ترسیم آن ارائه شده است. سادگی و در عین حال توانمند بودن این ابزار برای درک فعالیت‌های سازمانی باعث شده است تا به عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌های تجزیه وتحلیل سیستم، برای شناسایی و حذف تلفات گوناگون در فعالیت‌های عملیاتی و پشتیبانی استفاده شود. این ابزار در به تصویر کشیدن تمامی فرایندهای تولیدی، ارائه جریان مواد و اطلاعات کمک کرده و هدف آن شناسایی انواع اتلاف‌ها در جریان ارزش و تلاش برای حذف آن‌هاست .[۳].

رقابت‌پذیری در دنیای اقتصادی امروز ایجاب می‌کند، شرکت‌ها، از نظر کارایی در حد همتایان خود یا بهتر باشند. صنعت معدنکاری نیز از این قاعده مستثنا نیست. از این‌رو ضروری است تا تولیدکنندگان زغال‌سنگ نیز در جهت کاهش هزینه‌ها گام بردارند. «نقشه جریان ارزش» یک روش نوین مدیریتی در تولید است که به طور سامانمند، به شناسایی انواع اتلاف می‌پردازد و از طریق بهینه‌سازی مستمر و استفاده از اطلاعات آماری در مسیر محصول تولیدی، موجب از میان بردن تلفات می‌شود [۴, ۵].

تولید ناب از دیدگاه کاربردی و عملیاتی شامل پیاده‌سازی مجموعه‌ای از ابزارها و روش‌هایی است که درصدد کاهش ضایعات (مودا[1]) در شرکت و زنجیره‌ی عرضه‌ی متعلق به شرکت است. مودا کلمه ژاپنی به معنای اتلاف است. هر موردی که به هر شکل منابع در اختیار را مصرف کند و موجب افزایش هزینه‌ها شود، اما ارزشی ایجاد نکند اطلاق می‌شود [6].

در حال حاضر، برنامه‌ریزی تولید در معادن زغال‌سنگ البرز شرقی مبتنی بر برنامه تولید سالانه به صورت دستورالعمل‌های اجرای هفتگی و ماهیانه از بالاترین سطح شرکت به کارگاه های استخراج برنامه‌ریزی می‌شود. بر این اساس، زغال سنگ‌های تولیدی به روش سنتی (فشاری) تولید می‌گردند که به افزایش هزینه‌های مستقیم و بالاسری تولید می‌انجامد. از جمله بخش‌های مهم در عملیات معدنکاری زیرزمینی زغال‌سنگ، آماده‌سازی و استخراج لایه‌های زغالی از کارگاه‌های استخراج و رسیدن به تولید برنامه‌ریزی شده است که زمان انجام فرآیندهای این بخش تأثیر مهمی در زمان برنامه‌ریزی شده برای تولید زغال‌سنگ دارد. این مطالعه با هدف، تعیین فرصت‌های بهبود فرآیندهای آماده‌سازی و استخراج از کارگاه‌های استخراج با استفاده از نقشه جریان ارزش در معادن زغال‌سنگ البرز شرقی انجام شد. در این مطالعه با به کارگیری اصول تفکر ناب به ویژه نقشه جریان ارزش، تلفات موجود در وضعیت فعلی شناسایی و طراحی مجددی از فرآیند مبتنی بر حذف اتلاف صورت گرفت.

۲- تاریخچه پیدایش و مفهوم تولید ناب

سیستم تولید ناب شکل تکامل‌یافته سیستم تولیدی است که تایچی اوهنو[2] به کمک همکاران طی سی سال تلاش بی‌وقفه در شرکت تویوتا توانست از طریق سعی و خطاهای بسیار و به‌تدریج، آن را توسعه دهد و به سرانجام برساند. تولیدکنندگان ژاپنی بعد از جنگ جهانی دوم با کمبود مواد، منابع مالی و نیروی انسانی مواجه شدند. این شرایط منجر به تشکیل مفهوم تولید «ناب» شد [7]. کیچیرو تویودا[3] دریافته بود که خودروسازان آمریکایی تولید بیشتری از همتایان ژاپنی خود داشتند. به منظور پاسخ به این تفاوت اولین رهبران صنعت ژاپن مانند تویودا، شیگو شینگو[4] و تایچی اوهنو یک سیستم تولید جدید، منظم و مبتنی بر فرایند طراحی کردند که امروزه

[1] Muda
[2] Taiichi Ohno
[3] Kiichiro Toyoda
[4] Shigeo Shingo

با عنوان «سیستم تولید تویوتا[1]» یا «تولید ناب[2]» شناخته می‌شود. تمرکز این سیستم بر شناسایی منابع اصلی اتلاف و سپس استفاده از ابزارهایی مانند تولید به موقع، تولید هموار، کاهش زمان راه‌اندازی و غیره به منظور حذف این اتلاف‌ها است.

تولید ناب در واقع نگرشی است که درصدد از بین بردن فرآیندهای اضافی یا هدررفت‌ها[3]؛ یعنی فرآیندهایی که ارزش افزوده‌ای ایجاد نمی‌کند، در کل فرآیند تولید، از مرحله‌ی تهیه مواد اولیه تا تولید و نهایتاً فروش است [8]. در نگرش تولید ناب، مدیر تولیدکننده با دید سامانمند با مسائل برخورد می‌کند. بدین معنی که با کاربرد شیوه‌های تعریف شده و مدون در تلاش است رابطه‌ای برد- برد با کل اجزای سیستم برقرار کند. به عنوان مثال در سیستم مدیریت ناب، با تأمین‌کنندگان مواد اولیه و لوازم رابطه‌ای نزدیک بر مبنای سود معقول طرفین ایجاد می‌شود. همچنین میان مدیریت و کارگران نوعی تعهد وجود دارد که مدیریت به کارگران در قبال مسئولیت‌ها، ارزش و احترام قائل است که این ارزش و احترام با آموزش افراد و توسعه دانش فنی ایشان و همچنین با تشویق و پاداش مالی اعمال می‌شود. در مقابل، مدیریت انتظار دارد که کارگران پاسخگوی نیازهای مختلف کارخانه باشند که ابزار نظارتی مانند گزارش‌دهی مداوم بر اساس دستورالعمل‌ها و استانداردها معیار سنجش میزان بهره‌وری کارکنان خواهد بود [9].

به بیان ساده‌تر تولید ناب یک فلسفه تولیدی است که زمان سفارش تا تحویل کالا را با حذف هدر رفت‌ها کوتاه می‌کند. این تعریف به معنی داشتن یک انبار بزرگ و تحویل به مشتری به محض درخواست نیست بلکه معنی آن ساختن مورد سفارش در حداقل زمان و به موازات سفارش است. چه بسا انبارداری و انباشت محصول خود نوعی هدر رفت محسوب شود. چرا که هر فعالیتی که مصرف‌کننده منابع و ذخایر باشد، اما هیچ ارزشی نیافریند، هدر رفت محسوب می‌شود. این شیوه یک روش چندبعدی است که گستره وسیعی از روش‌های تولیدی را در یک سیستم یکپارچه در بردارد، از جمله این روش‌ها می‌توان مواردی مانند استانداردسازی، یکپارچگی تأمین‌کنندگان، همسویی تقاضا و تولید، درگیر کردن نیروی کار و ... را نام برد. نکته حائز اهمیت این است که این روش‌ها بتوانند در کنار هم محصولات نهایی را با حداقل هدر رفت همگام با تقاضای مشتری تولید کنند [10].

به منظور تحقق اهداف رویکرد تولید ناب از ابزارهای گوناگونی نظیر نقشه جریان ارزش (VSM[4])، روش 5S، دیاگرام ایشیکاوا[5] یا نمودار استخوان ماهی[6] و ... استفاده می‌شود؛ که در این تحقیق با توجه به اقتضای آن از روش نقشه جریان ارزش یا VSM استفاده می‌شود که در ادامه تعریف، مزایا و نمادهای استاندارد به کار رفته در آن بیان شده است.

۳- نقشه‌برداری جریان ارزش

نقشه‌برداری جریان ارزش، یک ابزار قلم و کاغذی است و این قابلیت را دارد در حالی که محصول، مسیر خود را در طول جریان ارزش طی می‌کند، حرکت مواد و اطلاعات دیده و درک شود. در واقع آنچه بدان نقشه‌برداری جریان ارزش گفته می‌شود کار ساده‌ای است به این صورت که مسیر محصول را از مشتری تا تأمین‌کننده تعقیب می‌شود و به دقت از هر فرآیندی که در مسیر حرکت مواد و اطلاعات قرار دارد، تصویری روشن ترسیم می‌شود. سپس مجموعه‌ای از پرسش‌های کلیدی مطرح و بر اساس آن‌ها برای وضع آینده، نقشه‌ای ترسیم می‌شود که نشان می‌دهد ارزش باید چگونه حرکت کند [12-10].

انجام این کار آن هم به دفعات، ساده‌ترین و بهترین راهکار است تا ارزش و به ویژه ریشه‌های اتلاف شناسایی شوند. با رسم نقشه‌های جریان ارزش می‌توان به عملیات کف کارگاه که برای تحقق تولید ناب مفید است تسلط یافت. باید به خاطر داشت که ناب شدن به معنای نقشه‌برداری نیست. نقشه‌برداری فقط روشی است برای ناب شدن و مهم فقط تحقق حرکت ارزش‌آفرین است. برای ایجاد چنین حرکتی، باید دید و تصویری از حرکت داشت. نقشه‌برداری کمک می‌کند تا با تجسم وضعیت ایده‌آل یا بهبودیافته، حرکت دیده شود و بر ایجاد حرکت متمرکز شد [13].

۳-۱- مزایای نقشه‌برداری جریان ارزش

نقشه‌برداری جریان ارزش، یک ابزار حیاتی است و دارای مزایایی به شرح ذیل است [19-13, 11, 10, 8, 4]:

- نقشه‌برداری کمک می‌کند به جای دیدن یک فرآیند منفرد، حرکت دیده شود.
- نقشه‌برداری کمک می‌کند در جریان ارزش، نه فقط اتلاف‌ها، بلکه ریشه‌های آن‌ها نیز دیده شود.

[1] Toyota Production System (TPS)
[2] Lean Manufacturing
[3] Waste
[4] Value Stream Mapping
[5] Ishikawa Diagram
[6] Fishbone Diagram

- نقشه‌برداری، زبانی مشترک فراهم می‌آورد تا بتوان درباره فرآیندهای تولید با یکدیگر گفتگو کرد.
- نقشه‌برداری، تصمیمات مربوط به حرکت محصول را علنی کرده تا بتوان درباره آن‌ها گفتگو کرد. در غیر این صورت، بسیاری از تصمیمات و جزئیات، در کارگاه و بدون حضور مدیران اتفاق خواهد افتاد.
- نقشه‌برداری، مفاهیم و روش‌های ناب را با هم پیوند می دهد و مانع غرق شدن مخاطب در این یا آن روش خاص خواهد شد.
- نقشه‌برداری، مبانی برنامه ناب‌سازی را فراهم می‌آورد. به کمک نقشه جریان ارزش می‌توان حرکت مواد و اطلاعات از درب ورود تا درب خروج کارخانه را مطابق با روش تولید ناب طراحی کرد. این همان حلقه مفقوده بسیاری از تلاش‌هایی است که تاکنون برای ناب‌سازی صورت گرفته است. ناب‌سازی بدون نقشه جریان ارزش، همچون ساختن خانه بدون نقشه معماری است.
- نقشه‌برداری (و نه ابزارهای دیگر)، ارتباط میان حرکت مواد و اطلاعات را نشان می‌دهد.
- نقشه‌برداری بسیار مفید است زیرا حجم زیادی از آمار و ارقام مربوط به گام‌های ارزش‌نیآفرین، زمان‌های انتظار، مسافت‌های طی شده، مقادیر موجودی و بسیاری از آمار و ارقام دیگر را گرد هم می‌آورد. نقشه‌برداری جریان ارزش یک ابزار کیفی است که به کمک آن می‌توان به تفصیل بیان کرد تأسیسات باید چگونه عمل کنند تا بتوان حرکت را به وجود آورد. البته آمار و ارقام لازم هستند تا بتوان به ضرورت ایجاد تغییرات پی برد و محاسبات لازم مربوط به قبل و بعد از بهبود را انجام داد، اما این نقشه‌برداری است که نشان می‌دهد باید واقعاً چه کار کرد تا این آمار و ارقام را بهبود بخشید.

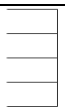
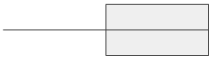
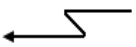
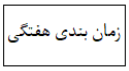
۳-۲- نمادهای استاندارد نقشه جریان ارزش

در نقشه جریان ارزش، مجموعه‌ای از نمادهای منحصربه‌فرد برای تجسم یک فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمادها می‌توانند به دید بصری کمک کنند. آن‌ها به طور دقیق نشان می‌دهند که با چه نوع گام‌هایی مواجهه خواهیم شد. هر چند که همیشه می‌توان نمادهای پیشنهادی خود را مطرح کرد، اما معمولاً ساده‌تر است که یک قالب از قبل ایجاد شده را پیدا کرده و نقشه را با آن‌ها ترسیم کرد. نمادهای نقشه جریان ارزش معمولاً بسیار شهودی هستند. برخی از متداول‌ترین این نمادها و توضیح کاملی از آن‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- برخی از مهم‌ترین علائم استاندارد مورد استفاده در نقشه جریان ارزش به همراه توضیحات مربوط به آن‌ها [9]

Table 1- Some of the most important standard symbols used in the VSM with their explanations [9]

نمادهای حرکت مواد	نشان‌دهنده	توضیحات
مونتاژ	فرآیند/ پردازش/ عملیات	جعبه فرآیند، نشان‌دهنده محدوده‌ای است که در آن محصول/ خدمت، در حرکت است (توقف ندارد). باید روی جعبه، نام هر فرآیند نوشته شود. البته برای واحدهایی همچون کنترل عملکرد تولید نیز از همین نماد استفاده می‌شود.
شرکت XYZ	منابع بیرونی	برای نشان دادن مشتریان، تأمین‌کنندگان و تمام ذینفعان تولیدی، خدماتی و قانونی بیرونی استفاده می‌شود.
C/T= ۴۵ ثانیه C/O = ۳۰ دقیقه ۳ شیفت ٪۲ نرخ ضایع سازی	جدول داده‌ها	برای ثبت اطلاعات مربوط به هر فرآیند، سایر واحدها یا مشتری استفاده می‌شود.
I ۳۰۰ واحد ۱ روز	موجودی	باید مقدار موجودی و مدت زمان نگهداری آن در زیر نماد درج شود.
شنبه+ دوشنبه	ارسال با کامیون	دفعات ارسال روی آن درج شود.

نمادهای حرکت مواد	نشان‌دهنده	توضیحات
	حرکت رانشی مواد تولید شده	مواد بدون توجه به نیاز فرآیند بعدی و بر اساس برنامه زمانی، تولید شده و به سمت فرآیند بعدی رانده می‌شود.
	حرکت محصول نهایی به سمت مشتری	نشان‌دهنده حرکت محصول نهایی به سمت مشتری است.
	سوپرمارکت	یک موجودی کنترل شده از قطعات که برای زمان‌بندی تولید فرآیند بالای جریان از آن استفاده می‌شود.
	دریافت کششی	کشش مواد، معمولاً از یک سوپرمارکت.
	جدول زمانی کل	این نماد در انتهای نوار داده زمان انتظار تولید قرار می‌گیرد. سلول بالایی این نماد نشان‌دهنده زمان انتظار تولید[1] (مجموع زمان‌های انتظار[2] و چرخه‌های زمانی[3] تولید است) و سلول پائینی آن نشان‌دهنده چرخه زمانی کل تولید است.
	بخشی از جدول زمانی	در قسمت پائین این نماد چرخه زمانی فرآیند و در قسمت بالایی آن زمان انتظار بین ۲ فرآیند قرار می‌گیرد.
	حرکت دستی اطلاعات	برای نمونه، زمان‌بندی تولید یا ارسال.
	حرکت الکترونیک اطلاعات	برای نمونه از طریق کامپیوتر.
	اطلاعات	برای نشان دادن اطلاعات مورد نیاز در هر جایی که مورد نیاز است.
	زمان‌بندی برو و ببین	تنظیم زمان‌بندی تولید بر اساس مشاهده سطح واقعی موجودی.
	تأخیر	نشان می‌دهد محدودیت زمانی یا تأخیر در انجام کار وجود دارد.
	کایزن‌نما	در یک نقشه جریان ارزش، بهبودهایی را مشخص می‌کند که برای رسیدن به جریان ارزش موردنظر (وضع آینده)، لازم هستند و از آن‌ها برای برنامه‌ریزی کارگاه کایزن استفاده می‌شود.
	اپراتور	فردی را نشان می‌دهد که از بالا به آن نگاه می‌شود.

[1] Lead Time
[2] Wait Times
[3] Cycle Times

۴- مروری بر سابقه علمی موضوع نقشه جریان ارزش

شوکلا[۱] و تریودی[۲] در سال ۲۰۱۲، به بهبود بهره‌وری در صنعت معدن زغال‌سنگ با استفاده از تولید ناب پرداختند. آن‌ها مدیریت ناب را برای بهبود رفاه کارگران معدن به کار برده‌اند که اساساً بر مبنای محاسبه زمان و انرژی از دست رفته به‌واسطه عدم وجود ابزار موتوری انتقال کارگران به محل کار انجام شده است [17].

لیو[۳] در سال ۲۰۱۳، پس از شناسایی انواع هدر رفت‌ها در یک معدن زغال‌سنگ، راه‌هایی برای کاهش هدر رفت‌ها ارائه می‌دهد که درنهایت باعث کاهش کل زمان فرآیند به میزان ۷۷ دقیقه می‌شود که نشان‌دهنده بهبودی در حدود ۱۷٪ است. لازم به ذکر است که ایمنی نیز در این ساختار در نظر گرفته شده است. نویسنده اشاره می‌کند که تولید ناب باید بهره‌وری کارگران را بهبود بخشد و حدود توانایی کارگران را بدون افزایش شدت کار تضمین کند [18].

بلکوکیاس[۴] و همکاران در سال ۲۰۱۴، به بررسی تأثیر پنج روش اساسی ناب، یعنی JIT، اتوماسیون، کایزن، نگهداری مولد کل (TPM[۵]) و نقشه‌برداری جریان ارزش بر روی معیارهای عملکرد عملیاتی پرداختند. این محققین، یک تحلیل رگرسیون خطی، همبستگی و تأثیر این شیوه‌های ناب را بر عملکرد عملیاتی ۱۴۰ سازمان تولیدی در سراسر جهان مدل‌سازی کردند. نتایج نشان می‌دهد که JIT و اتوماسیون بیش‌ترین اهمیت را در عملکرد عملیاتی دارند در حالی که به نظر می‌رسد که کایزن، TPM و VSM تأثیر کم‌تر، یا حتی منفی بر روی آن دارند [15].

کومار[۶] در سال ۲۰۱۴، به بیان کلی و مزایای تفکر ناب و نقشه جریان ارزش در معدنکاری پرداخت و تعدادی از موارد هدر رفت در معادن زغال‌سنگ در بخش‌های معدنکاری سطحی و زیرزمینی، فرآوری، حمل‌ونقل و ایمنی را بیان کرد [14].

شیلیگ[۷] و همکاران در سال ۲۰۱۵، توضیح می‌دهد که چگونه می‌توان VSM را به یک روش نقشه جریان ارزش انرژی (EVSM[۸]) گسترش داد که اجازه می‌دهد انرژی ورودی فرآیند تولید را در ارزش افزوده و غیر ارزش افزوده تقسیم کرد. در این مقاله بیان شده است می‌توان مصرف انرژی را در زمان‌ها و فرآیندهای مختلف اندازه‌گیری کرد تا از این طریق نسبت انرژی مصرف شده در زمان‌ها و فرآیندهای دارای ارزش افزوده و فاقد ارزش افزوده محاسبه شود [20].

اوفوری- اوکیره[۹] و همکاران در سال ۲۰۱۶، به جنبه‌های تئوریک و تجربی معدنکاری ناب در معادن غنا پرداخته‌اند و اساس آن تجزیه‌وتحلیل مقالات و گزارش‌های موجود بوده است. در مجموع پژوهشگران قصد شناسایی آن قسمت از فرآیند معدنکاری که با اجرای ابزار ناب سازگار است و همچنین ابزار مربوطه را داشته‌اند و در پایان نیز به محدودیت‌ها و چالش‌های پیشرو پرداخته‌اند [21].

اندریادیس[۱۰] و همکاران در سال ۲۰۱۷، به بیان یک چارچوب مفهومی برای بیان ضرورت استفاده از نقشه جریان ارزش در سازمان‌ها پرداخته‌اند. این تحقیق با بررسی تاریخچه علمی موضوع به صورت سامانمند، به بررسی و طبقه‌بندی منابع مختلف تحقیقاتی در بخش‌های مختلف پرداخته است و با تهیه‌ی پرسشنامه‌هایی از شرکت‌های مختلف در سراسر جهان در صدد بیان مزایا و شکاف‌های موجود در استفاده از نقشه جریان ارزش است [22].

ماکوانا[۱۱] و آواستی[۱۲] در سال ۲۰۱۷، به کاربرد نقشه جریان ارزش در یک صنعت تولید اجزاء الکترونیکی مورد استفاده در معادن و صنایع پرداخته‌اند که هدف آن تطبیق عرضه و تقاضای تولید داخلی است. با اجرای نقشه جریان ارزش در این مطالعه موردی جابجایی از ۴۰۰ متر به ۵ متر کاهش یافت که ۹۸/۷۵٪ بهبود یافت. همچنین ۲ نفر نیروی کاری مازاد در چرخه حذف شد. همچنین Lead Time یا همان مجموع زمان‌های انتظار و چرخه زمانی از ۱/۰۲ روز به ۰/۷۹ روز کاهش یافت که از نظر زمانی مطابق با کاهش ۳/۵ ساعته بود [23].

---

۱ Shukla
۲ Trivedi
۳ Liu
۴ Belekoukias
۵ Total Productive Maintenance
۶ Kumar
۷ Schillig
8 Energy Value-Stream Mapping
۹ Ofori-Okyere
۱۰ Andreadis
۱۱ Makwana
۱۲ Awasthi

رومرو[۱] و آرک[۲] در سال ۲۰۱۷، به بررسی سابقه‌ی علمی موضوع نقشه جریان ارزش پرداختند. مطابق نتایج به دست آمده مشخص شد تا سال ۲۰۱۶ تعداد ۱۹ مقاله در بخش مطالعات مفهومی، تعداد ۵۸ مقاله در بخش مطالعات شبیه‌سازی شده و تعداد ۴۶ مقاله در بخش مطالعات موردی کاربردی طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین میزان تلفات در بخش‌های حرکت ۱۰٪، انتظار ۱۸/۵٪، تولید بیش از اندازه ۱۸٪، فرآیندهای اضافی ۵/۵٪، اصلاح و تعمیرات ۱۱/۵٪، حمل‌ونقل ۱۵٪ و موجودی با بیشترین سهم ۲۱/۵٪ شناسایی شده است. از سوی دیگر ۷۹٪ مطالعات تنها دارای نقشه جریان وضع موجود و ۲۱٪ دارای هر ۲ نقشه جریان وضع موجود و وضع آینده هستند [24].

ساریوپوترو[۳] و همکاران در سال ۲۰۱۷، به بررسی بخش فرآیندی کانال‌های همزن عمودی در یک کارخانه فرآوری مواد معدنی پرداختند. نتایج نشان داد، تولید در این بخش از فرآیند حدود ۱۳ درصد کاهش پیدا کرده بود که مستلزم به‌کارگیری فرآیند ناب و نقشه جریان ارزش بود تا ضایعات کاهش یابد [25].

کومار و همکاران در سال ۲۰۱۸، به پیاده‌سازی مفهوم لین-کایزن[۴] در یک شرکت معدنی مقیاس متوسط در یک منطقه غیرتجاری در هند پرداختند. روش «۵ - چرا[۵]» برای شناسایی علل ریشه‌ای شکاف شناسایی شده به کار گرفته شد و رویدادهای کایزن به عنوان راه‌حل پیشنهاد شدند. در این مطالعه، دو رویداد کایزن پیشنهاد شده است. در رویداد کایزن اول، روش پوکا-یوکا[۶] و در رویداد کایزن دوم، روش طوفان مغزی[۷] به کار گرفته شد. پس از اجرای رویدادهای کایزن، کاهش سطح موجودی کالا، کاهش زمان بین شروع و اتمام فرآیند تولید و کاهش زمان چرخه، حذف دوباره‌کاری، بهبود بهره‌وری و بهبود کیفیت محصول حاصل شد [26].

بهنام[۸] و همکاران در سال ۲۰۱۸، به شناسایی و اولویت‌بندی موداها در خط تولید یک شرکت تولیدی معدنی پرداختند. در این روش از نقشه جریان ارزش برای شناسایی موداها و سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای نمایش موداها استفاده شده است [27].

داداش‌نژاد[۹] و ولمحمدی[۱۰] در سال ۲۰۱۹، به بررسی تأثیر VSMبر معیار اثربخشی تجهیزات کلی (OEE[۱۱]) پرداختند. در ابتدا یک پرسشنامه طراحی شد. سپس همه‌ی عوامل مؤثر بر VSMو OEE ارزیابی شدند، مقدار انطباق بین نتایج نظری و نتایج واقعی با استفاده از VSM فعلی و آینده و مقادیر فعلی و آینده OEE بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که معیار OEE به طور قابل‌توجهی از طریق بهبود شناسایی‌شده VSM تحت تأثیر قرار می‌گیرد [13].

جینگ[۱۲] و همکاران در سال ۲۰۲۱، به یافتن یک روش جدید برای بهبود فرآیند مدیریت تدارکات در یک شرکت تولیدی معدنی با استفاده از روش نقشه جریان ارزش و از طریق بازرسی های میدانی پرداختند. نتایج نشان داد که نقشه جریان ارزش در بحث تدارکات یک راه‌حل مؤثر برای کاهش موجودی‌های تجاری، کوتاه کردن چرخه خرید، صرفه‌جویی در هزینه‌های محصول و افزایش رقابت در بازار است [28].

در جدول (۲) نیز خلاصه و دسته‌بندی تحقیقات علمی در ارتباط با موضوع تحقیق آورده شده است.

در این بخش پژوهش‌های پیشین در خصوص تولید ناب در صنایع مختلف و معادن مطالعه و بررسی شد که نتایج زیر حاصل این بررسی است:

۱- همه پژوهشگران به مفهوم «تولید ناب» به‌عنوان یک ابزار قابل اجرا در معادن اتفاق نظر دارند.

۲- کاربرد تولید ناب در معادن همیشه عملی نیست. این موضوع در تمام مطالعات موردی و مثال‌های عملی دیده می‌شود و هیچ موردی شامل اجرای «کامل مدیریت ناب» نبود.

۳- با توجه بر آنچه مطالعات موردی انجام شده، سه زمینه‌ای که تلاش برای اجرای «تولید ناب» در آن‌ها متمرکز شده است را می‌توان چنین بیان کرد: خدمات پشتیبانی ماشین‌آلات، کارهای توسعه‌ای و عملیات معدنی.

۴- به نظر می‌رسد عملکردهای پشتیبانی و کارهای توسعه‌ای بیشترین پتانسیل اجرایی را برای ابزار ناب دارند.

[۱] Romero
[۲] Arce
[۳] Suryoputro
[4] Lean-Kaizen
[5] Why
[6] Poka-Yoke
[7] Brain Storming
[۸] Behnam
[۹] Dadashnejad
[۱۰] Valmohammadi
[11] Overall Equipment Effectiveness
[۱۲] Jing

۵- در مطالعات پیشین، اصول درگیر شدن نیروی کار به میزان کمتری مورد توجه قرار گرفته است.

۶- از آنجایی که تعداد مطالعات موردی اندک است، اظهارنظر کلی در مورد اثرات تولید ناب در معادن دشوار است. ولی هیچ نتیجه منفی در مطالعات موردی گزارش نشده است.

۷- از جمله اثرات ثبت شده ناشی از اجرای ابزار ناب می‌توان به افزایش توان تولید، بهبود سلامت و ایمنی و بهبود ارتباطات درون‌سازمانی اشاره کرد.

۸- اثرات مدیریت ناب در معادن، کوتاه‌مدت محسوب می‌شوند و این نگرانی همواره وجود دارد که اثرات پس از اقدامات اولیه مشاهده شده، ولی به مرور محو شوند.

۹- شکی نیست که از دیدگاه اجرایی «تولید ناب»، اختلافاتی بین معدن و صنایع سنتی وجود دارد. تولید معدن تولیدی مداوم است و تولید در چرخه قرار دارد، خطرات طبیعی می‌توانند تولید معادن را متوقف کنند، تعیین کیفیت محصول توسط تولیدکننده خیلی محدود است، ابزار و افراد هستند که جابه‌جا می‌شوند نه کالای اولیه مورد نظر برای تولید و غیره.

۱۰- علی‌رغم اینکه منافع تولید ناب در صنایع مختلف از جمله معادن به اثبات رسیده است، لیکن هنوز دستورالعمل مشخصی بدین منظور تعریف نشده و پایداری آن در معادن زغال‌سنگ به اثبات نرسیده است؛ لذا در این مقاله به بیان راهکارهای اجرایی در حذف تلفات و هدررفت‌ها در بخش آماده‌سازی و استخراج معادن زغال‌سنگ البرز شرقی پرداخته شده است.

جدول ۲- خلاصه و دسته‌بندی تحقیقات علمی در موضوع نقشه جریان ارزش

Table 2- Summary and classification of scientific research on the topic of VSM

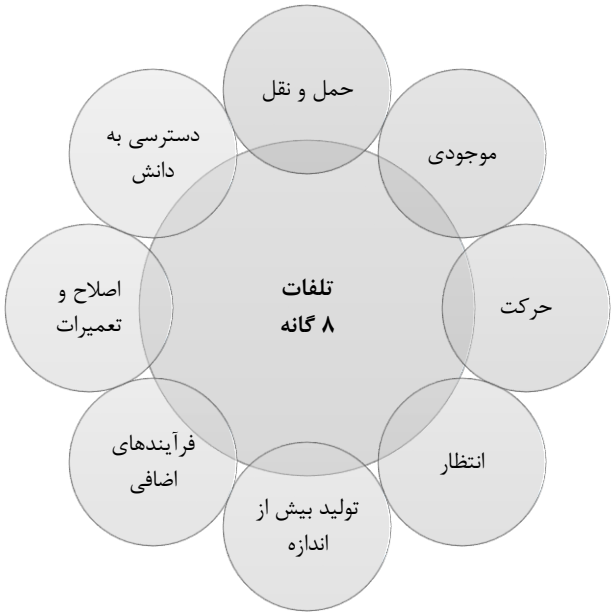
ردیف	هدف از VSM	نمونه‌ای از سابقه علمی موضوع
۱	مرور کلی، تعریف و بررسی VSM، اصول و جعبه ابزار آن	Rother and Shook (2003) [3], Gunaki et al. (2022) [29], Womack and Jones (2003) [30], Womack (2006) [31], Abdulmalek and Rajgopal (2007) [6], Lasa et al. (2008) [32], Serrano et al. (2008) [12], Chowdary and George (2012) [33], Nash and Poling (2011) [34], Myerson (2012) [35], Rocha-Lona et al. (2013) [36], Gupta et al. (2014) [10], Kumar (2014) [14], Saraswat et al. (2014) [4], Tamás (2016) [8], Andreadis et al. (2017) [22], Shou et al. (2017) [37], Behnam et al. (2018) [27], Kumar et al. (2018) [26], Singh et al. (2018) [38], Dadashnejad & Valmohammadi (2019) [13], Razali & Ab Rahman (2019) [39]
۲	مزایای VSM	Rother and Shook (2003) [3], Abdulmalek and Rajgopal (2007) [6], Lasa et al. (2008) [32], Serrano et al. (2008) [12], Lasa et al. (2009) [40], Pepper and Spedding (2010) [41], Singh et al. (2011) [11], Saraswat et al. (2014) [4], Andreadis et al. (2017) [22], Shou et al. (2017) [37], Garza-Reyes et al. (2018) [42], Kumar et al. (2018) [26]
۳	محدودیت‌ها و چالش‌ها در اندازه‌گیری VSM	Lasa et al. (2008) [32], Braglia et al. (2009) [16], Pepper and Spedding (2010) [41], Nash and Poling (2011) [34], Seyedhosseini et al. (2013) [43], Belekoukias et al. (2014) [15], Dal Forno et al. (2014) [44], Dinis-Carvalho et al. (2015) [45], Seifullina et al. (2018) [46]
۴	کاربرد VSM (مطالعات موردی)	Abdulmalek and Rajgopal (2007) [6], Barber and Tietje (2008) [47], Grewal (2008) [48], Serrano et al. (2008) [12], Seth et al. (2008) [49], Singh and Sharma (2009) [50], Chen et al. (2010) [51], Bo and Dong (2012) [52], Joshi & Naik (2012) [53], Rosienkiewicz (2012) [54], Teichgräber and de Bucourt (2012) [55], Jasti and Sharma (2014) [56], Kumar (2014) [14], Manjunath et al. (2014) [57], Parthanadee and Buddhakulsomsiri (2014) [58], Saboo et al. (2014) [59], Saraswat et al. (2014) [4], Venkataraman et al. (2014) [19], Tyagi et al. (2015) [60], Henrique et al. (2016) [61], Andreadis et al. (2017) [22], Makwana & Awasthi (2017) [23], Romero & Arce (2017) [24], Shou et al. (2017) [37], Stadnicka & Litwin (2017) [62], Suryoputro et al. (2017) [25], Behnam et al. (2018) [27], Garza-Reyes et al. (2018) [42], Kumar et al. (2018) [26], Dadashnejad & Valmohammadi (2019) [13], Knoll et al. (2019) [63], Wicaksono & Setiawan (2019) [64], Kant & Shrutika, (2020) [65], Martin et al. (2020) [66], Zahraee et al. (2020) [5], Jing et al. (2021) [28], Gunaki et al. (2022) [29]
۵	برنامه اجرایی VSM	Rother and Shook (2003) [3], Rivera and Chen (2007) [67], Lasa et al. (2008) [32], Serrano et al. (2008) [12], Nash and Poling (2011) [34], Bo and Dong (2012) [52], Venkataraman et al. (2014) [19], Henrique et al. (2016) [61], Shou et al. (2017) [37], Knoll et al. (2019) [63]

۵- تعریف اتلاف و انواع آن

اتلاف به هر فعالیتی که منابعی نظیر زمان و یا هزینه را جذب می‌کند ولی هیچ ارزش‌افزوده‌ای ایجاد نمی‌کند، اطلاق می‌شود. انواع اتلاف و حذف آن، یکی از اصول پایه‌ای سیستم‌های تولید ناب است. برای حذف سامانمند اتلاف، باید به تمام منابع انسانی موجود در سازمان آموزش داده شود که اتلاف چیست و در صورت مشاهده، چگونه آن را حذف کنند. با تجزیه‌وتحلیل فرآیندهای عملیاتی و منابع انسانی دو نوع اتلاف ملاحظه می‌شود که شامل اتلاف آشکار و اتلاف پنهان است.

اتلاف آشکار معمولاً به راحتی قابل‌شناسایی است و می‌توان آن را فوراً با یک هزینه پایین و یا حتی بدون هزینه حذف کرد. **اتلاف پنهان** در روش‌ها، فناوری یا سیاست‌های فعلی شرکت ظاهر می‌شود مگر اینکه روش‌های بهبودیافته‌ای اجرا شوند.

به طور کلی ۸ نوع اصلی اتلاف (در زبان ژاپنی «موداً») در سیستم تولید تویوتا مشخص شده است (شکل ۱). شناسایی این تلفات ضروری است و با اطلاعات و دانش موجود می‌توان به راحتی آن‌ها را شناسایی و برای حذف آن‌ها اقدام کرد. در بسیاری از مراجع و تحقیقات علمی تنها به این ۸ مورد، اشاره شده است. موداها، فعالیت‌های زائدی هستند که باعث افزایش زمان تأخیر، بازکاری زیاد ماشین‌آلات و منابع انسانی، ایجاد موجودی زیاد و افزایش زمان انتظار می‌شوند. انواع تلفات ۸ گانه در شکل (۱) آورده شده است و در جدول (۳) این تلفات به همراه خلاصه‌ای از مفهوم و خصوصیت آن‌ها ذکر شده است.



شکل ۱- تلفات ۸ گانه

Fig 1- The 8 Wastes of Lean

جدول ۳- انواع تلفات به همراه مفهوم و خصوصیت آن‌ها

Table 3- Types of Wastes in VSM with their meaning and characteristics

ردیف	نام اتلاف	مفهوم	خصوصیت
۱	حمل‌ونقل	هرگونه جابجایی مواد که به ارزش تولیدات نمی‌افزاید.	• طولانی شدن چرخه تولید. • استفاده نا مؤثر از نیروی کار و فضا افزایش یافته. • عاملی در توقفات و مکث‌ها در سیستم تولید.
	* حمل‌ونقل ارزش‌افزوده‌ای به محصول نهایی اضافه نمی‌کند، مگر اینکه شما در تجارت حمل‌ونقل باشید! سعی کنید تا حد ممکن مراحل حمل‌ونقل مواد یا اطلاعات را کاهش دهید.		
۲	موجودی	در اختیار داشتن مقادیر زیاد و ناضروری از مواد خام.	• هزینه‌های اقتصادی بالاتر. • هزینه انبارداری بیشتر. • مقادیر بیشتر عیوبات.

ردیف	نام اتلاف	مفهوم	خصوصیت
	* موجودی ورودی‌ها و محصولات تمام شده، هزینه‌ای به شما تحمیل می‌کند که می‌توانستید آن را در سایر نقاط سرمایه‌گذاری کنید. هر چه سطح موجودی شما پایین‌تر باشد، بهتر است.		
۳	حرکت	هر نوع حرکت فیزیکی یا راه رفتن کارگران که آن‌ها را از کار اصلی بازدارد یا موجب تأخیر در آن شود.	• طولانی شدن چرخه تولید. • اتلاف انرژی شخص.
	* جابه‌جایی، زمان صرف می‌کند و زمان یعنی پول. به عنوان مثال، کارمند مرکز پرورش گیاه باید بذرهای کاشته شده گیاه را به اندازه ۳ متر از روی میزی که گلدان روی آن قرار دارد جابه‌جا کرده و به واگن تراکتور انتقال دهد.		
۴	انتظار	زمان هدر رفته در فعالیت کارگران یا ماشین‌ها به خاطر تنگناها یا جریان ناکارای تولید در کارخانه.	• انتظار ماشین برای تعویض قالب یا راه‌اندازی اولیه. • انتظار اپراتور، در حالی که ماشین کار می‌کند. • انتظار قطعات برای عملیات، بازرسی یا حمل‌ونقل. • انتظار ارباب‌رجوع برای دریافت خدمات.
	* زمان انتظار نشان‌دهنده این است که میان یک فرآیند و فرآیند قبلی آن، گلوگاه وجود دارد.		
۵	تولید بیش از اندازه	تولید بیشتر از تقاضا یا تولید بسیار زودتر از زمان مورد نیاز.	• کهنه و دمده شدن. • مجبور شدن به فروش پایین محصول. • افزایش ضایعات محصول.
	* تولید بیش از حد مورد دیگری است که باید از آن جلوگیری کرد. حتی اگر محصول شما فاسدشدنی نباشد، ذخیره و نظارت بر آن تا زمانی که مشتری آن را خریداری کند، به طور واضح یک زباله است.		
۶	فرایندهای اضافی	فعالیتی که هیچ ارزشی برای مشتری ایجاد نمی‌کند.	• تعریف ضعیف الزامات مشتری. • مصوبات زائد و غیرمفید. • انجام فرایندهای اضافی به دلیل کیفیت پایین فرایند.
	* پردازش بیش از حد شاید به راحتی قابل اندازه‌گیری نبا شد، اما اگر یک آیتم بتواند با پردازش کمتری به عنوان ورودی فرآیند دیگر قلمداد شود، باید این کار را انجام دهد.		
۷	اصلاح و تعمیرات	دوباره‌کاری، زمانی اتفاق می‌افتد که بعضی فعالیت‌ها باید دوباره صورت گیرد به این دلیل که در بار اول درست انجام نشده است.	• تعمیرات کلی و جزئی محصول تولید شده. • دوباره‌کاری روی نامه‌ها و گزارش‌های اداری.
	* اصلاح و تعمیرات به معنای دوباره‌کاری‌ها یا اتلاف هستند و باعث از بین رفتن سرمایه می‌شوند.		
۸	عدم دسترسی به دانش	از دست دادن زمان، نظرات، پیشرفت‌ها و فرصت‌های یادگیری منابع انسانی به دلیل عدم توجه.	• نارضایتی منابع انسانی. • از دست دادن فرصت‌های مناسب برای بهبود عملکرد سازمان.

۶- مطالعه موردی

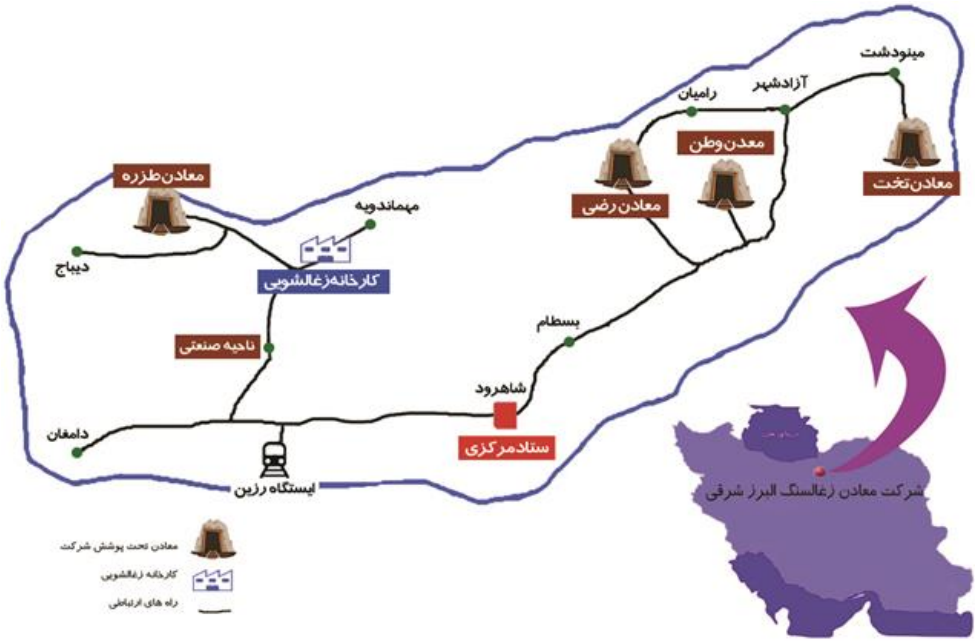
شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی در سال ۱۳۴۹، فعالیت اکتشافی و بهره‌برداری خود را آغاز کرد. این شرکت در سال ۱۳۵۳ به عنوان زیرمجموعه شرکت ملی ذوب آهن ایران به فعالیت خود ادامه داد. پس از تأسیس شرکت ملی فولاد و متعاقب آن سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران، شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی به مالکیت آن‌ها درآمد. در ابتدای سال ۱۳۹۳ و در راستای اجرای سیاست‌های اصل ۴۴ قانون اساسی، این شرکت توسط شرکت سهامی ذوب‌آهن اصفهان خریداری شد و در حال حاضر نیز تحت تملک آن قرار دارد [68].

شرکت ۶ محدوده معدنی در اختیار دارد که ۴ پروانه در استان سمنان، ۲ پروانه در استان گلستان و در مناطق جوزچال و وطن، ۲ پروانه در دست اقدام است.

حوزه فعالیت شرکت در شرق سلسله جبال البرز از شمال شهرستان دامغان (منطقه طزره) در استان سمنان تا جنوب شهرستان مینودشت (معدن تخت) در استان گلستان به طول ۲۲۰ کیلومتر گسترش دارد. زغال‌سنگ خام از معادن طزره، اولنگ و تخت استخراج می‌شود و پس از آن به کارخانه زغالشویی در منطقه طزره ارسال می‌گردد (شکل ۲).

عمده فعالیت‌های استخراج زغال‌سنگ از معادن تا رسیدن به کارخانه زغالشویی شامل بخش‌های پیشروی، آماده‌سازی و

استخراج، حمل تونلی و حمل جاده‌ای است. در این تحقیق با توجه به اهمیت موضوع و زمان‌بر بودن بخش آماده‌سازی و استخراج معادن و وجود تلفات مختلف، این بخش مورد بررسی قرار گرفته است و زمان‌های فرآیندی و زمان‌های بین فرآیندی با بررسی‌های میدانی اندازه‌گیری شده است. در ادامه دلایل انواع هدر رفت‌ها و تقسیم‌بندی نوع اتلاف‌های ۸ گانه به تفکیک هر فرآیند بررسی شده است.



شکل ۲- حوزه عملیاتی شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی

Fig 2- The area of Eastern Alborz Coal Mines Company

۷- پیاده‌سازی نقشه جریان ارزش در مطالعه موردی

پژوهش حاضر که یک تحقیق توصیفی و کاربردی است به بررسی وضعیت حالت فعلی و آینده بخش آماده‌سازی و استخراج در معادن شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی می‌پردازد. تحقیق حاضر مبتنی بر کارگروهی و همکاری متقابل پژوهشگر و اعضای گروه پژوهش در محیط کار واقعی شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی است. محققین در حین کار در چرخه برنامه‌ریزی، عمل، مشاهده، اندازه‌گیری و بازخورد قرار می‌گیرند. هدف اصلی از این تحقیق، شناسایی تلفات زمانی و ریشه‌های بروز آن در بخش آماده‌سازی و استخراج معادن زغال‌سنگ است تا ضمن اصلاح جریان مواد در بستر جریان ارزش، شرایط لازم برای کاهش زمان تولید بر اساس سفارش و کاهش هزینه‌های تولید فراهم آید. این کار از طریق گام‌های ترسیم نقشه جریان ارزش حاصل می‌شود که عبارت‌اند از:

- انتخاب خانواده محصول خاص به منظور بررسی و ارزیابی
- ترسیم وضع موجود شرکت در تولید محصول مورد بررسی
- سنجش میزان تلفات با بهره‌گیری از نقشه جریان وضع موجود
- تحلیل ریشه‌های تلفات فعلی
- ارائه راهکارهای حذف یا کاهش تلفات
- ترسیم نقشه وضعیت آینده مبتنی بر راهکارهای پیشنهادی

به منظور جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز، از تجربه کارشناسان، مشاهده مشارکتی، بررسی مستندات و مدارک نظیر دفتر کارکرد روزانه، آلبوم عملیات معدنی و جلسات مشترک داخلی استفاده شده است. همچنین برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش‌هایی نظیر تحلیل منطقی و عقلایی، جلسات کایزنی، مصاحبه با کارگران، کارشناسان و مدیران ارشد، ترسیم جریان ارزش، نمودار استخوان ماهی (برای تعیین رابطه علت و معلولی بین تلفات)، نمودار میله‌ای (برای بررسی میزان ناکارآمدی سیستم در شرایط فعلی و تعیین نوع هدر رفت‌ها در تلفات ۸ گانه)، نوار داده زمان‌ها و بررسی تجمیعی جداول و نمودارها با گروه پژوهش برای کسب نظر آن‌ها استفاده شده است.

در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ، برای تولید زغال‌سنگ و ارسال آن به کارخانه فرآوری و شستشوی آن و در نتیجه تولید کنسانتره و ارسال آن به ذوب آهن اصفهان جهت تولید کک مورد

نیاز کوره‌های ذوب آهن مراحل مختلفی اجرا می‌شود که ۴ بخش اصلی جهت رسیدن به تولید زغال‌سنگ خام شامل:

- پیشروی
- آماده‌سازی و استخراج
- حمل تونلی
- حمل جاده‌ای و رساندن زغال‌سنگ خام به کارخانه است.

در این مقاله تنها بخش آماده‌سازی و استخراج مدنظر است؛ لذا بررسی‌های انجام شده در این مقاله فقط در بخش آماده‌سازی و استخراج صورت گرفته است. بخش آماده‌سازی و استخراج خود دارای فرآیندهای مختلفی است که این فرآیندها عبارت‌اند از:

- چوب‌رسانی
- حفر گالری نفررو
- حفر دویل اصلی
- حفر گالری نفررو دوم
- پیکورزنی، نصب استحکامات و ناو و زغال‌کشی
- تخلیه

به منظور ایجاد یک زبان مشترک در ترسیم نقشه جریان ارزش از نمادها و نشانه‌های اشاره شده در جدول (۱) استفاده شده است.

چرخه زمانی در نظر گرفته در بخش آماده‌سازی و استخراج در ترسیم نقشه جریان ارزش برای حفر دو عدد گالری نفررو به طول هر کدام ۱۳ متر، دویل اصلی به طول متوسط ۱۱۲ متر و استخراج از کارگاه به طول ۱۰۰ متر و عرض سیکل ۸۰ سانتی‌متر است. میزان تناژ زغال استخراج شده ۱۲۳ تن (۷۳ مترمکعب)، مصرف چوب مورد نیاز با احتساب گالری‌ها و جرز متوسط ۵ تن (۶ مترمکعب) و از نوع سوزنی‌برگ است. نقشه جریان ارزش وضعیت فعلی و وضعیت آتی (پس از اجرای کایزن‌های ارائه شده در بخش (۸)) در شکل (۳) و نوار داده زمان‌های مختلف در نقشه جریان ارزش وضعیت فعلی در شکل (۴) آورده شده است.

در شکل (۳) منظور از:

C/T: چرخه زمانی هر فرآیند در وضعیت فعلی (برحسب دقیقه)

A/T: چرخه زمانی هر فرآیند در وضعیت آتی و پس از پیاده‌سازی کایزن‌های اصلاحی (برحسب دقیقه)

C/A: نسبت چرخه زمانی هر فرآیند در وضعیت فعلی به چرخه زمانی هر فرآیند در وضعیت آتی (برحسب درصد)

Lead Time: مجموع زمان کل یا مجموع زمانی انجام فرآیندها و زمان‌های بین فرآیندی،

Cycle Time: زمان کل انجام فرآیندها بدون در نظر گرفتن زمان انتظار کل.

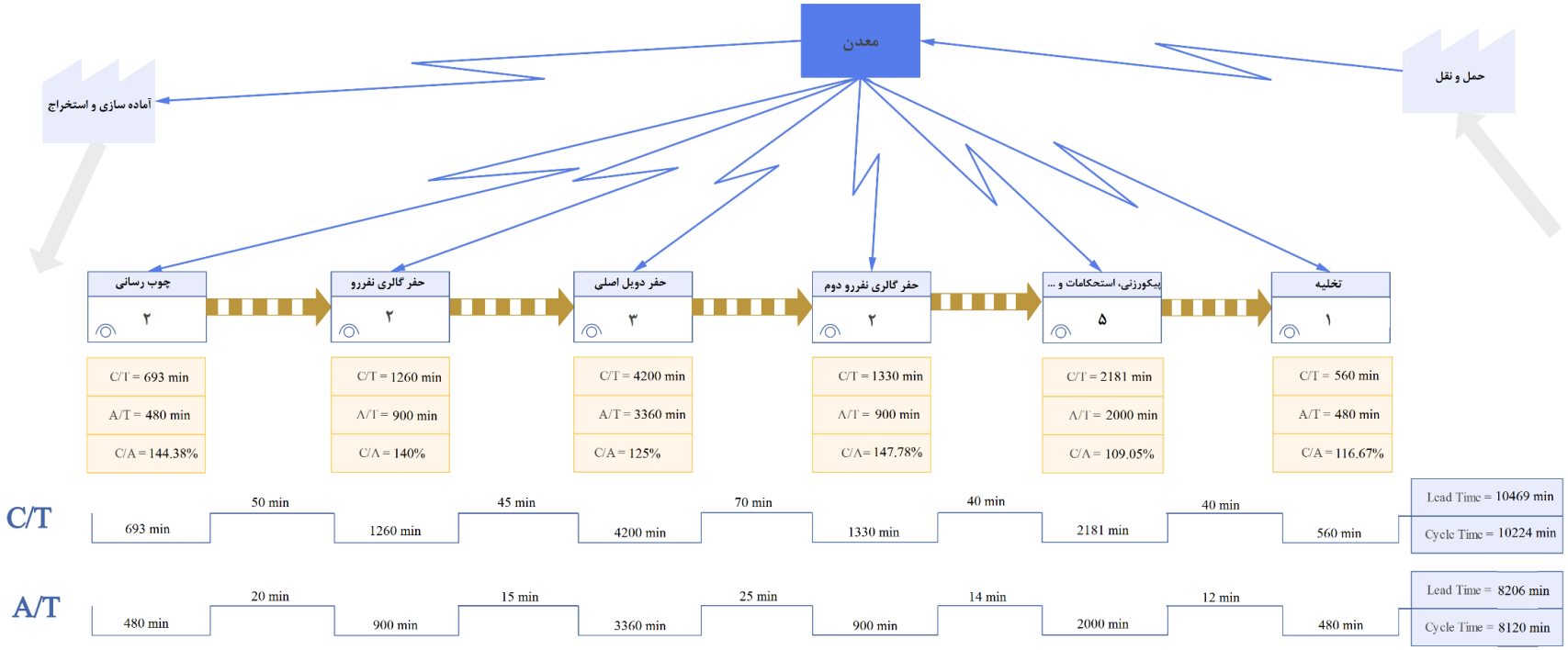
چنانچه از نتایج مشاهده می‌شود، فرآیندهای حفر دویل اصلی و پیکورزنی، نصب استحکامات و ناو و زغال‌کشی به ترتیب با زمان ۴۲۰۰ و ۲۱۸۱ دقیقه بیشترین چرخه زمانی فرآیندها را به خود اختصاص می‌دهند که بیش از ۶۰ درصد از چرخه زمانی کل و زمان کل بخش آماده‌سازی و استخراج را اشغال کرده‌اند. زمان انتظار بین فرآیندهای حفر دویل اصلی و حفر گالری نفررو دوم با مدت زمان ۷۰ دقیقه بالاترین زمان انتظار بین فرآیندی است.

پس از شناسایی فرآیندهای مختلف در بخش آماده‌سازی و استخراج و انجام اندازه‌گیری‌های میدانی، به منظور مشورت، همفکری، مشاوره و استفاده از تجربیات صاحب‌نظران در تعیین هدر رفت‌ها و تعیین نوع تلفات در این بخش، عوامل تلفات در جلسات مختلف و چندگانه بارش مغزی و ذهن انگیزی تعیین و در قالب پرسشنامه‌هایی در اختیار کارشناسان و مدیران ارشد شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی قرار گرفت. در شکل (۵) مراحل و روند نمای اجرای جلسات بارش مغزی درج شده است.

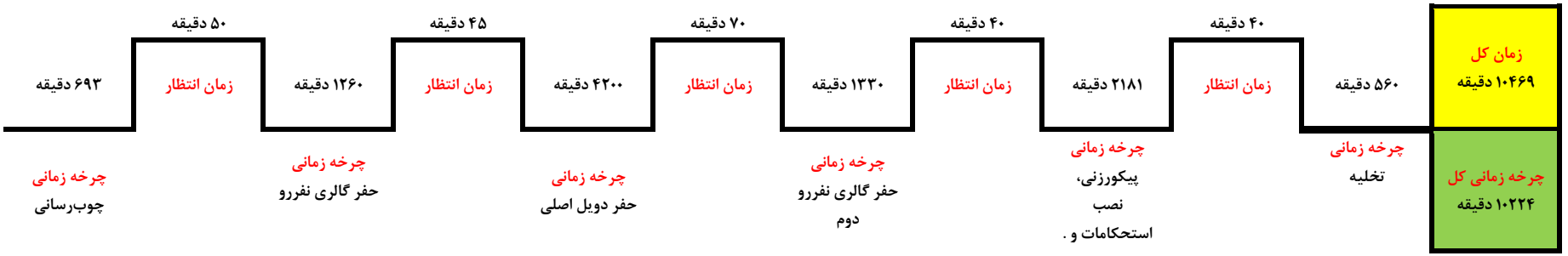
لازم به ذکر است به منظور کارشناسی، از ۱۷ خبره برای حضور در جلسات و تکمیل پرسشنامه‌ها استفاده شده است که کارشناسان منتخب از بخش‌های مختلف شرکت انتخاب گردیده‌اند. در جدول (۴)، مشخصات مربوط به کارشناسان مجموعه البرز شرقی که در جلسات بارش مغزی شرکت داشتند نیز آمده است.

در بحث گروهی با حضور کارشناسان منابع هدر رفت‌ها شناسایی گردید. انواع هدر رفت‌ها در قالب ۳۹ ردیف در جدول (۵) درج شده است و سپس با اجماع نظرات کارشناسی نوع اتلاف ۸ گانه هر هدر رفت نیز در جدول (۵) تعیین شد.

در جدول‌های (۶) تا (۱۰)، علل ریشه‌ای انواع هدر رفت زمانی به همراه نوع اتلاف به ترتیب در فرآیندهای چوب‌رسانی، حفر گالری نفررو، حفر دویل اصلی، پیکورزنی، نصب استحکامات و ناو و زغال‌کشی و تخلیه آورده شده است. در شکل‌های (۶) تا (۱۰) نیز نمودار انواع هدر رفت زمانی در فرآیندهای مذکور درج شده است. در جدول (۱۱)، انواع هدر رفت زمانی در بخش انتظار بین فرآیندهای چوب‌رسانی و تخلیه به همراه نوع اتلاف درج شده است و در شکل (۱۱) نیز نمودار انواع هدر رفت زمانی در بخش انتظار بین فرآیندهای چوب‌رسانی و تخلیه نشان داده شده است.



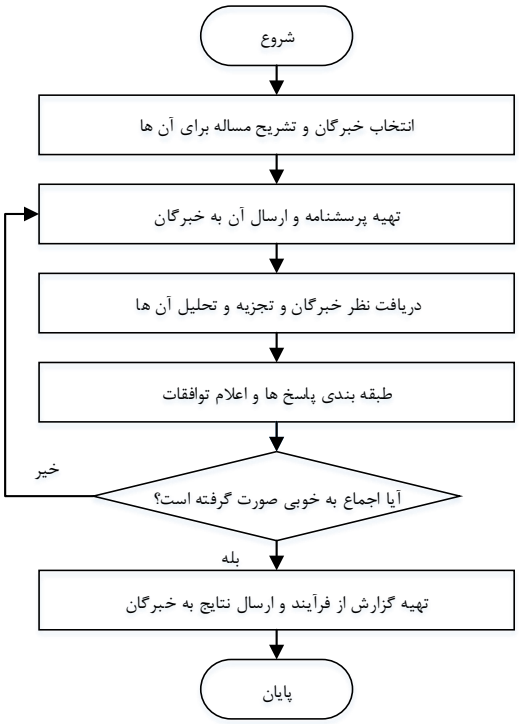
شکل ۳- نقشه جریان ارزش وضعیت فعلی و آتی در بخش آماده‌سازی و استخراج معادن شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی



شکل ۴- نوار داده زمان‌های مختلف در نقشه جریان ارزش وضعیت فعلی سیستم آماده‌سازی و استخراج معادن زغال‌سنگ البرز شرقی

Fig 4- Time Table of the current VSM in the in the Development and Exploitation section of the EACMCO

در جدول (۱۲) و شکل (۱۲) انواع هدر رفت زمانی در فرآیندهای مختلف در بخش آماده‌سازی و استخراج معادن زیرزمینی زغال‌سنگ البرز شرقی به همراه نوع اتلاف آورده شده است. چنانچه از مجموعه جدول‌ها و شکل‌های ترسیم شده مشاهده می‌شود بیشترین اتلاف مربوط به اتلاف انتظار با ۵۲ تکرار و پس از آن به ترتیب فرآیندهای اصلاح و تعمیرات، اضافی وعدم دسترسی به دانش و با ۱۱، ۸ و ۶ تکرار، بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند.



شکل ۵- مراحل اجرای جلسات بارش مغزی و ذهن انگیزی

Fig 5- Steps of brainstorming

جدول ۴- مشخصات مربوط به کارشناسان مجموعه البرز شرقی در جلسات بارش مغزی

Table 4- Characteristic of experts participating in brainstorming

ردیف	سمت	سابقه کار (سال)	تحصیلات	سن (سال)
۱	مدیرعامل	۲۰	کارشناسی ارشد	۴۹
۲	مدیر دفتر فنی و طراحی	۲۲	دکتری	۴۷
۳	کارشناس ارشد استخراج	۱۶	کارشناسی ارشد	۴۲
۴	رئیس برنامه‌ریزی استراتژیک و تعالی سازمانی	۳	دکتری	۳۵
۵	مدیر HSE شرکت	۲۱	کارشناسی	۵۲
۶	رئیس بهداشت حرفه‌ای شرکت	۱۴	کارشناسی	۴۳
۷	رئیس نظارت شرکت	۱۷	کارشناسی	۴۳
۸	مدیر معدن طزره	۱۷	کارشناسی ارشد	۴۲
۹	رئیس ایمنی معدن طزره	۱۸	کارشناسی	۴۲
۱۰	رئیس تونل بزرگ	۱۷	کارشناسی ارشد	۴۴
۱۱	رئیس تونل برناکی	۲۱	کارشناسی	۵۰
۱۲	رئیس تونل رزمجای غربی	۱۸	کارشناسی ارشد	۴۵
۱۳	رئیس تونل کلاریز شرقی	۱۴	کارشناسی	۴۷
۱۴	مدیر معدن تخت	۱۴	کارشناسی ارشد	۴۱
۱۵	معاونت معدنی معدن تخت	۱۳	کارشناسی	۳۷
۱۶	رئیس ایمنی معدن تخت	۱۸	کارشناسی	۴۱
۱۷	مدیر معدن رضی	۱۷	کارشناسی	۴۷

جدول ۵- انواع هدر رفت زمانی در بخش آماده‌سازی و استخراج به همراه نوع اتلاف

Table 5- Types of time losses with the type of waste in "Development and Exploitation" section

آماده‌سازی و استخراج									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۱	خرابی دستگاه‌های برش چوب (اره نجاری و ...)				*				
۲	آماده بکار نبودن ماشین‌آلات حمل (تراکتور، کامیون، وانت نیسان و ...)				*				
۳	نیروی کار کم‌تجربه (بیماری‌های شغلی و غیر شغلی، حوادث، استرس‌های روانی ناشی از حوادث، حقوق و ...)								*
۴	مناسب نبودن جاده‌های معدنی (مسیر نجارخانه تا محل ورودی تونل‌ها)				*				
۵	قطعی برق				*				
۶	عوامل زیان‌آور محیط کار				*				
۷	عدم اجرای نت یا اجرای نامنظم نت				*				
۸	عدم رعایت دستورالعمل‌ها							*	
۹	در دسترس نبودن شاسی معدنی (وسیله حمل چوب در داخل تونل)				*				
۱۰	خرابی وینچ معدنی و لوکوموتیوها				*				
۱۱	نامناسب بودن مسیر حمل (آب‌گرفتگی، آماس کف و ...)						*		
۱۲	عدم تخلیه به موقع چوب در بیرون و داخل تونل				*				
۱۳	انتخاب مکان نامناسب حفر گالری نفررو (برخورد دویل با گسل و ...)							*	
۱۴	استفاده از تجهیزات فرسوده و ناقص (پیکور، شیلنگ و ...)						*		
۱۵	فشار پایین و نبود هوای فشرده (عدم نصب آبگیر و ...)				*				
۱۶	انحراف از امتداد بزرگ‌ترین شیب						*		
۱۷	عدم رعایت دستورالعمل‌های حفر دویل (قطر چوب، تخته، فولیه و ...)							*	
۱۸	بی‌نظمی در تدارکات رسانی				*				
۱۹	شرایط زمین‌شناسی لایه (ضخامت، آب‌های زیرزمینی، گاز خیزی و ...)				*				
۲۰	سرعت حفر گالری نفررو				*				
۲۱	شروع به موقع حفر گالری نفررو				*				
۲۲	عدم نصب به موقع فن موضعی گالری				*				
۲۳	عدم تأمین به موقع واگن برای تخلیه زغال یا سنگ گالری				*				
۲۴	انتخاب مکان نامناسب حفر دویل (برخورد دویل با گسل و ...)							*	
۲۵	سرعت حفر دویل				*				
۲۶	شروع به موقع حفر دویل یا گزنگ				*				
۲۷	عملکرد تخریب تا جبهه کار							*	
۲۸	زمان‌بندی نامنظم بین استخراج و ترانسپورت				*				
۲۹	عمل نکردن تخریب				*				
۳۰	فشارهای ناشی از کارگاه استخراج				*				
۳۱	عدم همگامی بین آماده‌سازی و استخراج (مانند نصب صحیح استحکامات دویل و ...)				*				
۳۲	ابزار کار نامناسب در محل کار (اره نجاری دستی داخل کارگاه و ...)							*	
۳۳	عمل کردن نامناسب تخریب							*	

آماده‌سازی و استخراج									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۳۴	استفاده از تجهیزات فرسوده و ناقص (واگن و ...)						*		
۳۵	عدم نصب صحیح بونکر							*	
۳۶	عدم تهویه مناسب				*				
۳۷	محدودیت‌های امنیتی				*				
۳۸	عوامل جوی (رعدوبرق و ...)				*				
۳۹	وقوع حوادث				*				

جدول ۶- انواع هدر رفت زمانی در فرآیند چوب‌رسانی به همراه نوع اتلاف

Table 6- Types of time losses with the type of waste in "Wood supply" process

چوب‌رسانی									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۱	خرابی دستگاه‌های برش چوب (اره نجاری و ...)				*				
۲	آماده بکار نبودن ماشین‌آلات حمل (تراکتور، کامیون، وانت نیسان و ...)				*				
۳	نیروی کار کم‌تجربه (بیماری‌های شغلی و غیر شغلی، حوادث، استرس‌های روانی ناشی از حوادث، حقوق و ...)								*
۴	مناسب نبودن جاده‌های معدنی (مسیر نجارخانه تا محل ورودی تونل‌ها)				*				
۵	قطعی برق				*				
۶	عوامل زیان‌آور محیط کار				*				
۷	عدم اجرای نت یا اجرای نامنظم نت				*				
۸	عدم رعایت دستورالعمل‌ها							*	
۹	در دسترس نبودن شاسی معدنی (وسیله حمل چوب در داخل تونل)				*				
۱۰	خرابی وینچ معدنی و لوکوموتیوها				*				
۱۱	عدم تهویه مناسب				*				
۱۲	نامناسب بودن مسیر حمل (آب‌گرفتگی، آماس کف و ...)						*		
۱۳	عدم تخلیه به موقع چوب در بیرون و داخل تونل				*				

جدول ۷- انواع هدر رفت زمانی در فرآیند حفر گالری نفررو به همراه نوع اتلاف

Table 7- Types of time losses with the type of waste in "Drilling the Man way raise Gallery" process

حفر گالری نفررو									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۱	انتخاب مکان نامناسب حفر گالری نفررو (برخورد دویل با گسل و ...)							*	
۲	استفاده از تجهیزات فرسوده و ناقص (پیکور، شیلنگ و ...)						*		
۳	فشار پایین و نبود هوای فشرده (عدم نصب آبگیر و ...)				*				
۴	انحراف از امتداد بزرگ‌ترین شیب						*		
۵	نیروی کار کم‌تجربه (بیماری‌های شغلی و غیر شغلی، حوادث، استرس‌های روانی ناشی از حوادث، حقوق و ...)								*
۶	عدم رعایت دستورالعمل‌های حفر دویل (قطر چوب، تخته، فولیه و ...)							*	
۷	بی‌نظمی در تدارکات رسانی				*				
۸	شرایط زمین شنا سی لایه (ضخامت، آب‌های زیرزمینی، سختی، گاز خیزی و ...)				*				
۹	سرعت حفر گالری نفررو				*				
۱۰	شروع به موقع حفر گالری نفررو				*				
۱۱	عوامل زیان‌آور محیط کار				*				
۱۲	قطعی برق				*				
۱۳	عدم اجرای نت یا اجرای نامنظم نت				*				
۱۴	عدم نصب به موقع فن موضعی گالری				*				
۱۵	عدم تأمین به موقع واگن برای تخلیه زغال یا سنگ گالری				*				

جدول ۸- انواع هدر رفت زمانی در فرآیند حفر دویل اصلی به همراه نوع اتلاف

Table 8- Types of time losses with the type of waste in "Drilling the main raise" process

دویل اصلی									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۱	انتخاب مکان نامناسب حفر دویل (برخورد دویل با گسل و ...)							*	
۲	استفاده از تجهیزات فرسوده و ناقص (پیکور، شیلنگ و ...)						*		
۳	فشار پایین و نبود هوای فشرده (عدم نصب آبگیر و ...)				*				
۴	انحراف از امتداد بزرگ‌ترین شیب						*		
۵	نیروی کار کم‌تجربه (بیماری‌های شغلی و غیر شغلی، حوادث، استرس‌های روانی ناشی از حوادث، حقوق و ...)								*
۶	عدم رعایت دستورالعمل‌های حفر دویل (قطر چوب، تخته، فولیه و ...)							*	
۷	بی‌نظمی در تدارکات رسانی				*				

دویل اصلی									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۸	شرایط زمین‌شناسی لایه (ضخامت، آب‌های زیرزمینی، گاز خیزی و ...)				*				
۹	سرعت حفر دویل				*				
۱۰	شروع به موقع حفر دویل یا گزنگ				*				
۱۱	عوامل زیان‌آور محیط کار				*				
۱۲	قطعی برق				*				
۱۳	عدم اجرای نت یا اجرای نامنظم نت				*				
۱۴	عدم تأمین به موقع واگن برای تخلیه زغال یا سنگ گالری				*				

جدول ۹- انواع هدر رفت زمانی در فرآیند پیکورزنی، نصب استحکامات و ناو و زغال‌کشی به همراه نوع اتلاف

Table 9- Types of time losses with the type of waste in "Coal cutting, etc" process

پیکورزنی، نصب استحکامات و ناو و زغال‌کشی									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۱	استفاده از تجهیزات فرسوده و ناقص (پیکور، شیلنگ و ...)						*		
۲	فشار پایین و نبود هوای فشرده (عدم نصب آبگیر و ...)				*				
۳	عملکرد تخریب تا جبهه کار							*	
۴	انحراف از امتداد بزرگ‌ترین شیب						*		
۵	زمان‌بندی نامنظم بین استخراج و ترانسپورت				*				
۶	نیروی کار کم‌تجربه (بیماری‌های شغلی و غیر شغلی، حوادث، استرس‌های روانی ناشی از حوادث، حقوق و ...)								*
۷	عدم رعایت دستورالعمل‌های استخراج (قطر چوب، تخته، فولیه و ...)							*	
۸	بی‌نظمی در تدارکات رسانی				*				
۹	شرایط زمین‌شناسی لایه (ضخامت، آب‌های زیرزمینی، سختی، شیب و ...)				*				
۱۰	عمل نکردن تخریب				*				
۱۱	فشارهای ناشی از کارگاه استخراج				*				
۱۲	عدم رعایت دستورالعمل‌ها							*	
۱۳	عدم همگامی بین آماده سازی و ا ستخراج (مانند ن صب صحیح ا ستحکامات دویل و ...)				*				
۱۴	عوامل زیان‌آور محیط کار				*				
۱۵	قطعی برق				*				
۱۶	عدم اجرای نت یا اجرای نامنظم نت				*				
۱۷	ابزار کار نامناسب در محل کار (اره نجاری دستی داخل کارگاه و ...)							*	
۱۸	عمل کردن نامناسب تخریب							*	

جدول ۱۰- انواع هدر رفت زمانی در فرآیند تخلیه به همراه نوع اتلاف

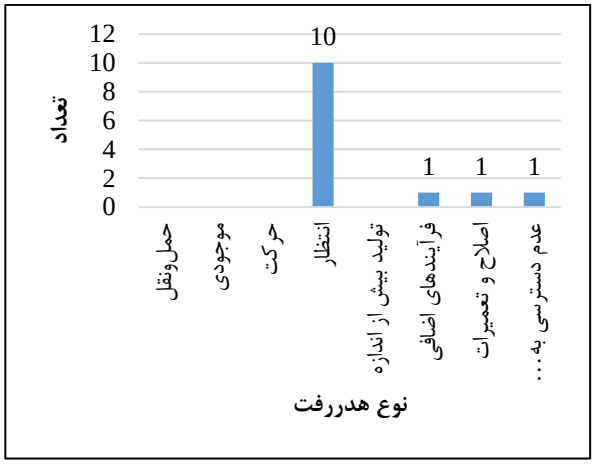
Table 10- Types of time losses with the type of waste in "Discharge" process

تخلیه									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۱	استفاده از تجهیزات فرسوده و ناقص (واگن و ...)						*		
۲	زمان‌بندی نامنظم بین استخراج و ترانسپورت				*				
۳	نیروی کار کم‌تجربه (بیماری‌های شغلی و غیر شغلی، حوادث، استرس‌های روانی ناشی از حوادث، حقوق و ...)								*
۴	بی‌نظمی در تدارکات رسانی				*				
۵	عوامل زیان‌آور محیط کار				*				
۶	قطعی برق				*				
۷	عدم اجرای نت یا اجرای نامنظم نت				*				
۸	عدم نصب صحیح بونکر							*	

جدول ۱۱- انواع هدر رفت زمانی در بخش انتظار بین فرآیند به همراه نوع اتلاف

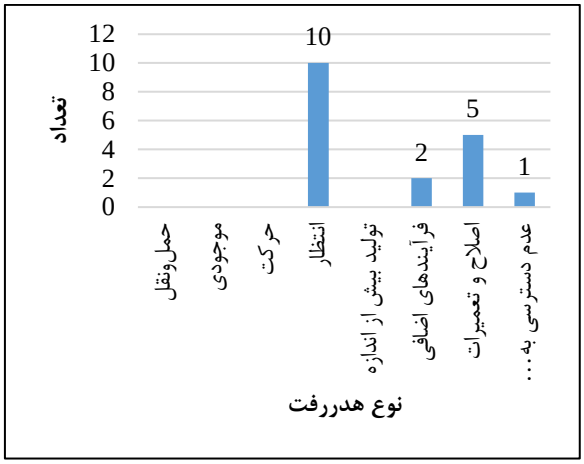
Table 11- Types of time losses with the type of waste in "Waiting between processes" process

انتظار بین فرآیند									
ردیف	هدر رفت	نوع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
۱	نیروی کار کم‌تجربه (بیماری‌های شغلی و غیر شغلی، حوادث، استرس‌های روانی ناشی از حوادث، حقوق و ...)								*
۲	بی‌نظمی در تدارکات رسانی				*				
۳	عدم تهویه مناسب				*				
۴	محدودیت‌های امنیتی				*				
۵	عوامل جوی (رعدوبرق و ...)				*				
۶	وقوع حوادث				*				
۷	عوامل زیان‌آور محیط کار				*				
۸	قطعی برق				*				
۹	عدم اجرای نت یا اجرای نامنظم نت				*				



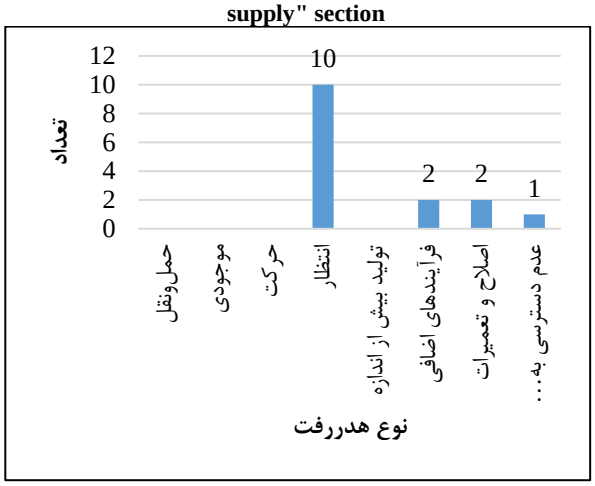
شکل ۶- نمودار انواع هدر رفت زمانی در فرآیند چوب‌رسانی

Fig 6- Diagram of types of time losses in the "Wood supply" section



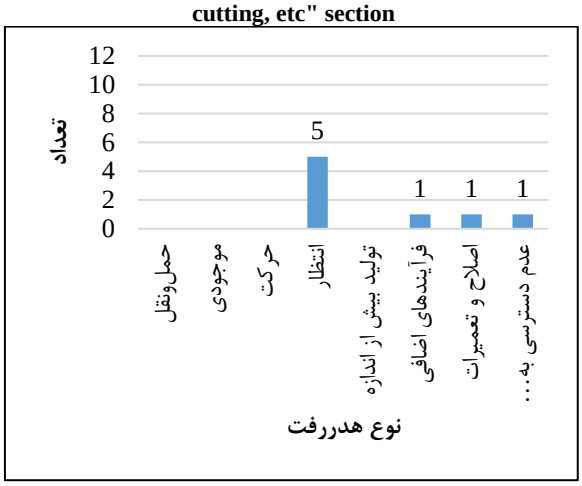
شکل ۹- نمودار انواع هدر رفت زمانی در فرآیند پیکورزنی و ...

Fig 9- Diagram of types of time losses in the "Coal cutting, etc" section



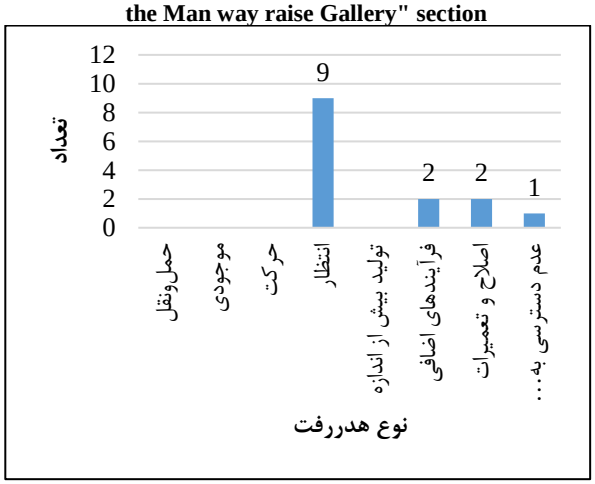
شکل ۷- نمودار انواع هدر رفت زمانی در فرآیند حفر گالری نفررو

Fig 7- Diagram of types of time losses in the "Drilling the Man way raise Gallery" section



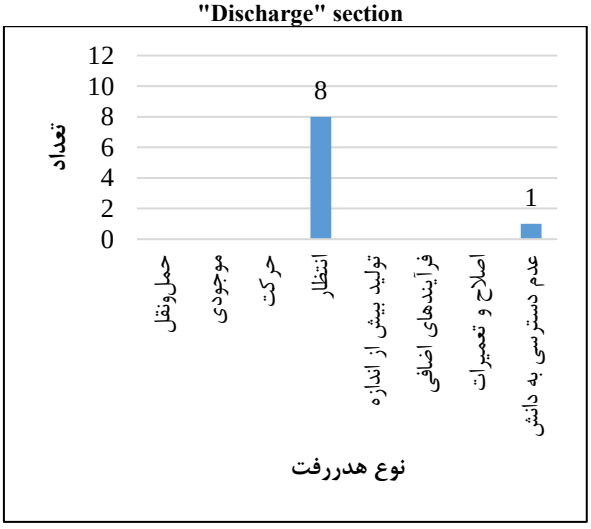
شکل ۱۰- نمودار انواع هدر رفت زمانی در فرآیند تخلیه

Fig 10- Diagram of types of time losses in the "Discharge" section



شکل ۸- نمودار انواع هدر رفت زمانی در فرآیند حفر دویل اصلی

Fig 8- Diagram of types of time losses in the "Drilling the main raise" section



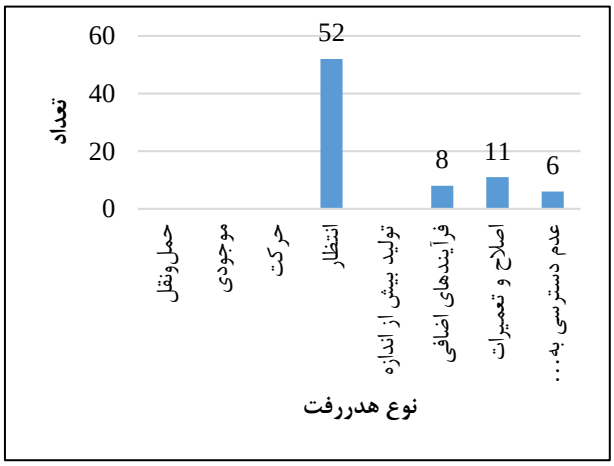
شکل ۱۱- نمودار انواع هدر رفت زمانی در بخش انتظار بین فرآیند

Fig 11- Diagram of types of time losses in the "Waiting between processes" section

جدول ۱۲- انواع هدر رفت زمانی در فرآیندهای مختلف در بخش آماده‌سازی و استخراج معادن زیرزمینی زغال‌سنگ البرز شرقی به همراه نوع اتلاف

Table 12- Types of time losses in different processes in the "Development and Exploitation" section of EACMCO with the type of waste

		انواع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافه	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به‌دلیل...
فرآیندهای مختلف در بخش آماده‌سازی و استخراج معادن زیرزمینی زغال‌سنگ البرز شرقی	چوب‌رسانی	۰	۰	۰	۱۰	۰	۱	۱	۱
	حفر گالری نفررو	۰	۰	۰	۱۰	۰	۲	۲	۱
	حفر دویل اصلی	۰	۰	۰	۹	۰	۲	۲	۱
	پیکورزنی و ...	۰	۰	۰	۱۰	۰	۲	۵	۱
	تخلیه	۰	۰	۰	۵	۰	۱	۱	۱
	انتظار بین فرآیند	۰	۰	۰	۸	۰	۰	۰	۱
	کل فرآیندها	۰	۰	۰	۵۲	۰	۸	۱۱	۶



شکل ۱۲- نمودار انواع هدر رفت زمانی در کل فرآیندهای آماده‌سازی و استخراج در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ البرز شرقی

Fig 12- Diagram of types of time losses in different processes are described in the "Development and Exploitation" section of EACMCO

۸- کایزن‌های پیشنهادی برای کاهش هدر رفت های زمانی

بررسی نقشه وضع موجود شرکت در بخش آماده‌سازی و استخراج معادن نشان‌دهنده آن است که این شرکت از نظر تعداد نیروی انسانی با توجه به حجم کار از نظر کمّی و کیفی در این بخش در حالت بهینه قرار دارد، اما این شرکت دارای حجم بالای تلفات زمانی است. هدف از ترسیم نقشه جریان ارزش وضع آتی، حذف اتلاف‌هایی است که باعث طولانی شدن فرآیندهای این بخش می‌گردد؛ لذا برای حذف یا کاهش این تلفات در این بخش به ارائه چندین پیشنهاد اصلاحی یا کایزن جهت کاهش زمان بین فرآیندی و کاهش زمان انجام فرآیند از طریق اجرای مستقیم در بخش‌های درگیر در هر فرآیند پرداخته شده است. همچنین زمان‌های حاصله پس از پیاده‌سازی این کایزن‌ها تحت عنوان A/T در شکل (۳) و جدول (۱۳) آورده شده است. پیشنهادهای اصلاحی یا کایزن‌ها عبارت‌اند از:

- به‌روزرسانی تجهیزات و اجرای تعمیرات پیشگیرانه آن‌ها در فواصل زمانی معین.
- وجود قطعات یدکی در انبار معدن.
- وجود تجهیزات اصلی رزرو بالأخص وجود کمپرسور رزرو در مناطق معدنی.

• وجود تعمیرکار خدمات فنی در محل معدن.

• نقشه‌برداری و راهبری به موقع تونل‌ها توسط واحدهای نقشه‌برداری و زمین‌شناسی.

• استفاده از نیروی کار (استادکار و کارگر) باتجربه در اجرای عملیات آماده‌سازی و استخراج.

• تدارک‌رسانی منظم و تأمین به موقع و کافی ابزارآلات، پیکور، شیلنگ، اره نجاری، شاسی حمل چوب، چوب، تخته و ...

• حفر به موقع و مناسب گالری نفررو و دویل با رعایت دستورالعمل‌های آماده‌سازی و استخراج.

• تعیین تعداد نیروی مورد نیاز در هر فرآیند توسط کارفرما و تأمین آن توسط پیمانکار.

• آماده بکار بودن ماشین‌آلات حمل چوب (تراکتور، کامیون و ...).

• تعمیر و نگهداری جاده‌های معدنی.

• سرویس و نگهداری و به روزرسانی لوکوموتیو و وینچ-های معدنی.

• برقراری تهویه مناسب در شبکه معدن.

• نصب صحیح و درست بونکرهای معدن.

• انتخاب مکان مناسب حفر دویل (برخورد دویل با گسل و ...).

• بروز رسانی تجهیزات و عدم استفاده از تجهیزات دارای نقص و فرسوده (پیکور، شیلنگ و ...).

• سرویس و نگهداری کمپرسورهای، مهیا نمودن هوای فشرده با فشار مناسب و نصب آبگیرها در مسیر لوله‌های هوای فشرده.

• تا حد امکان دویل آماده‌سازی در مسیر بزرگ‌ترین شیب استخراج باشد.

• رعایت کامل دستورالعمل‌های حفر دویل (قطر چوب، تخته، فولیه و ...).

• سرعت بخشیدن به حفر دویل‌های کارگاهی و نفر رو و شروع به موقع حفر آن.

• از بین بردن عوامل زیان‌آور محیط کار.

• عدم قطعی برق.

• اجرای نت.

• بررسی‌های مناسب زمین‌شناسی صورت گرفته و بر اساس شرایط کارگاه از نظر وضعیت آب‌های زیرزمینی، شیب و ضخامت کارگاه و میزان سختی زغال و ... تصمیم درستی اتخاذ و اجرا گردد.

• عملکرد مناسب تخریب (بر اساس دستورالعمل‌های کارگاه نسبت به گام تخریب مناسب عمل شود و در صورت عدم عمل نکردن گام تخریب بر اساس دستورالعمل کارگاه در زمان مناسب، تصمیم سریع در این خصوص اتخاذ گردد).

• انجام درست و صحیح نگهداری کارگاه‌ها جهت جلوگیری از ریزش سقف کارگاه.

• حفر مناسب فولیه‌ها با رعایت دستورالعمل‌های استخراج.

• استفاده از شوت‌های زغال‌ریز.

پس از اجرای کایزن‌های اصلاحی زمان انجام فرآیند چوب‌رسانی از ۶۹۳ دقیقه به ۴۸۰ دقیقه، زمان انجام فرآیند حفر نفررو و گالری مجموعاً در دو مرحله از ۲۵۹۰ دقیقه به ۱۸۰۰ دقیقه، زمان انجام فرآیند حفر دویل اصلی از ۴۲۰۰ دقیقه به ۳۳۶۰ دقیقه، زمان انجام فرآیند پیکورزنی، نصب استحکامات و ناو و زغال‌کشی از ۲۱۸۱ دقیقه به ۲۰۰۰ دقیقه، زمان انجام فرآیند تخلیه از ۵۶۰ دقیقه به ۴۸۰ دقیقه، مدت زمان بین فرآیندی فرآیندهای چوب‌رسانی و حفر گالری نفررو اول از ۵۰ دقیقه به ۲۰ دقیقه، مدت زمان بین فرآیندهای حفر گالری نفررو اول و حفر دویل اصلی از ۴۵ دقیقه به ۱۵ دقیقه، مدت زمان بین فرآیندهای حفر دویل اصلی و حفر دویل گالری نفررو دوم از ۷۰ دقیقه به ۲۵ دقیقه، مدت زمان بین فرآیندهای حفر گالری نفررو دوم و پیکورزنی، نصب استحکامات و ناو و زغال‌کشی از ۴۰ دقیقه به ۱۴ دقیقه و مدت زمان بین فرآیندهای پیکورزنی، نصب استحکامات و ناو و زغال‌کشی و فرآیند تخلیه از ۴۰ دقیقه به ۱۲ دقیقه کاهش یافت که این امر باعث شد کل مدت زمان انجام بخش آماده‌سازی و استخراج از ۱۰۴۶۹ دقیقه به ۸۲۰۶ دقیقه کاهش یابد و مدت زمان کل فرآیندها از ۲۲ شیفت به ۱۷ شیفت کاهش یافت.

جدول ۱۳- بخش‌های مختلف نوار داده چرخه زمانی و زمان انتظار تولید در نقشه جریان ارزش (وضع فعلی و آتی) بخش آماده‌سازی و استخراج معادن زغال‌سنگ البرز شرقی

Table 13- Different sections of the timetable in the time cycle and production waiting time in VSM (current and future status) in the "Development and Exploitation" section of EACMCO

	فرآیند ۱ چوب‌رسانی	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۲ حفر گالری نفرو	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۳ حفر دویل اصلی	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۴ حفر گالری نفرو دوم	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۵ پیکورزنی و ...	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۶ تخلیه	Lead Time زمان کل	Total Cycle Time زمان کل فرآیندی	Total Wait Time زمان کل انتظار
نفرات	۲		۲		۳		۲		۵		۱			
Cycle Time (C/T)	11:33:00	0:50:00	21:00:00	0:45:00	70:00:00	0:70:00	22:10:00	0:40:00	36:21:00	0:40:00	9:20:00	174:29:00	170:24:00	4:05:00
Actual Time (A/T)	8:00:00	0:20:00	15:00:00	0:15:00	56:00:00	0:25:00	15:00:00	0:14:00	33:20:00	0:12:00	8:00:00	136:46:00	135:20:00	1:26:00
C/A (%)	144.38	250.00	140.00	300.00	125.00	280.00	147.78	285.71	109.05	333.33	116.67			

۹- نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش نشان دادن کاربرد نقشه‌ی جریان ارزش در حرکت به سمت ناب‌سازی بخش آماده‌سازی و استخراج معادن زغال‌سنگ البرز شرقی و به نوعی طراحی کردن سیستم تولیدی ناب با تأکید بر روش‌های نقشه‌برداری جریان ارزش است.

در این تحقیق پس از شناسایی فرآیندهای مختلف در بخش آماده‌سازی و استخراج و رسم نقشه‌ی جریان ارزش و انجام اندازه‌گیری‌های میدانی، به منظور همفکری، تعامل و استفاده از تجربیات صاحب‌نظران در تعیین هدر رفت‌ها و تعیین نوع تلفات، جلسات متعدد بارش مغزی با حضور کارشناسان و مدیران ارشد شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی تشکیل شد. در بحث گروهی با حضور کارشناسان، منابع هدر رفت‌ها شناسایی شد و انواع هدر رفت‌ها در قالب ۳۹ مورد تعیین و نوع اتلاف ۸ گانه هر هدر رفت نیز تعیین شد که بیشترین اتلاف مربوط به اتلاف انتظار با ۵۲ تکرار و پس از آن به ترتیب فرآیندهای اصلاح و تعمیرات، اضافی و عدم دسترسی به دانش و با ۱۱، ۸ و ۶ تکرار، بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند.

بررسی نقشه وضع موجود شرکت در بخش آماده‌سازی و استخراج معادن نشان‌دهنده آن است که این شرکت دارای حجم بالای تلفات زمانی است. هدف از ترسیم نقشه جریان ارزش وضع آتی، حذف اتلاف‌هایی است که باعث طولانی شدن فرآیندهای بخش آماده‌سازی و استخراج می‌گردد؛ لذا برای حذف یا کاهش این تلفات در ادامه تحقیق به ارائه چندین پیشنهاد اصلاحی یا کایزن جهت کاهش زمان بین فرآیندی و کاهش زمان انجام فرآیند پرداخته شد.

پس از اجرای کایزن‌های اصلاحی، کل مدت زمان فرآیندی از ۱۰۲۲۴ دقیقه به ۸۱۲۰ دقیقه، مدت زمان بین فرآیندی فرآیندهای چوب‌رسانی و تخلیه از ۲۴۵ دقیقه به ۸۶ دقیقه و درمجموع کل مدت زمان انجام بخش آماده‌سازی و استخراج از ۱۰۴۶۹ دقیقه به ۸۲۰۶ دقیقه تقلیل یافت و مدت زمان کل فرآیند از ۲۲ شیفت به ۱۷ شیفت کاهش یافت.

مطالعه حاضر نشان داد که می‌توان با استفاده از ابزارهای بهبود فرآیند نظیر تفکر ناب، از اتلاف منابع و صرف هزینه‌های اضافی که در موارد زیادی به دلیل اتخاذ تصمیمات بدون پشتوانه علمی و منطقی است، اجتناب کرد. بخش معدن، به ویژه معدنکاری زیرزمینی و در رأس آن معدنکاری زیرزمینی زغال‌سنگ به دلیل هزینه‌های زیاد و پیچیدگی‌های خاص آن، بالأخص بخش آماده‌سازی و استخراج، پتانسیل بسیار بالایی در راستای به کارگیری تفکر ناب دارد.

۱۰- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان بیان نشد.

۱۱- قدردانی

از داوران محترم برای نظرهای دقیق و بازخوردهای سازنده‌ای که به بهبود و ارتقاء کیفی این مقاله کمک شایانی کردند، صمیمانه تشکر میکنیم. همچنین از سردبیر محترم به خاطر حمایت‌ها و راهنمایی‌های مفیدی که در طول فرایند بازبینی انجام دادند، سپاسگزاریم.

۱۲- منابع

[1] Jia, S., Yuan, Q., Lv, J., Liu, Y., Ren, D., & Zhang, Z. (2017). Therblig-embedded value stream mapping method for lean energy machining. Energy, 138, 1081-1098.

[2] Ng, D., Vail, G., Thomas, S., & Schmidt, N. (2010). Applying the Lean principles of the Toyota Production System to reduce wait times in the emergency department. Canadian Journal of Emergency Medicine, 12 (1), 50-57.

[3] Rother, M., & Shook, J. (2003). Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda. Lean Enterprise Institute.

[4] Saraswat, P., Sain, M. K., & Kumar, D. (2014). A review on waste reduction through value stream mapping analysis. International Journal of Research, 1 (6), 200-207.

[5] Zahraee, S. M., Tolooie, A., Abrishami, S. J., Shiwakoti, N., & Stasinopoulos, P. (2020). Lean manufacturing analysis of a Heater industry based on value stream mapping and computer simulation. Procedia Manufacturing, 51, 1379-1386.

[6] Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. International Journal of production economics, 107 (1), 223-236.

[7] Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). The machine that changed the world, Macmillan Publishing Company.

[8] Tamás, P. (2016). Application of value stream mapping at flexible manufacturing systems. In Key Engineering Materials (Vol. 686, pp. 168-173). Trans Tech Publications Ltd.

[9] Keyte, B., & Locher, D. A. (2004). The complete lean enterprise: Value stream mapping for administrative and office processes. CRC Press.

[10] Gupta, R. K., Singh, M. P., & Sharma, L. K. (2014). Reduction of Wastage Using Value Stream Mapping: Case Study. International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology, 4 (2), 52-55.

[11] Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2011). Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 53 (5-8), 799-809.

[12] Serrano, I., Ochoa, C., & Castro, R. D. (2008). Evaluation of value stream mapping in manufacturing system redesign. International Journal of Production Research, 46 (16), 4409-4430.

[13] Dadashnejad, A. A., & Valmohammadi, C. (2019). Investigating the effect of value stream mapping on overall equipment effectiveness: a case study. Total Quality Management & Business Excellence, 30 (3-4), 466-482.

[14] Kumar, P. N. (2014). Analysing the Benefits of Value Stream Mapping in

Mining Industry. International Journal of Innovative Research in Science, al Journal of Innovative Research in Science, 16668-16673.

[15] Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. International Journal of production research, 52 (18), 5346-5366.

[16] Braglia, M., Frosolini, M., & Zammori, F. (2009). Uncertainty in value stream mapping analysis. International journal of logistics: Research and Applications, 12 (6), 435-453.

[17] Shukla, R., & Trivedi, M. (2012). Productivity improvement in coal mining industry by using lean manufacturing. International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development, 6 (2), 580-587.

[18] Liu, Z. X. (2013). Study on coal lean mining theory and practice. Advanced Materials Research, 605, 538-541.

[19] Venkataraman, K., Ramnath, B. V., Kumar, V. M., & Elanchezhian, C. (2014). Application of value stream mapping for reduction of cycle time in a machining process. Procedia Materials Science, 6, 1187-1196.

[20] Schillig, R., Stock, T., & Müller, E. (2015, September). Energy value-stream mapping a method to visualize waste of time and energy. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems (pp. 609-616). Springer, Cham.

[21] Ofori-Okyere, I., Atanga, R. A., & Okine, B. A. (2016). Managing Lean Principles applicability and implementation in the mining industry in Ghana. A Review Paper on Related Literature. Archives of Business Research, 4 (6), 282-299.

[22] Andreadis, E., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2017). Towards a conceptual framework for value stream mapping (VSM) implementation: an investigation of managerial factors. International Journal of Production Research, 55 (23), 7073-7095.

[23] Makwana, K., & Awasthi, S. (2017). A case study on reducing in lead time by using value stream mapping. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 3 (12), 411-424.

[24] Romero, L. F., & Arce, A. (2017). Applying value stream mapping in manufacturing: A systematic literature review. IFAC-PapersOnLine, 50 (1), 1075-1086.

[25] Suryoputro, M. R., Sari, A. D., Burhanudin, R., & Sugarindra, M. (2017, December). Lean production design using value stream mapping and ergonomics approach for waste elimination on buffing panel upright process. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 277, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.

[26] Kumar, S., Dhingra, A. K., & Singh, B. (2018). Process improvement through Lean-Kaizen using value stream map: a case study in India. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 96 (5-8), 2687-2698.

[27] Behnam, D., Ayough, A., & Mirghaderi, S. H. (2018). Value stream mapping approach and analytical network process to identify and prioritize production system's Mudas (case study: natural fibre clothing manufacturing company). The Journal of the Textile Institute, 109 (1), 64-72.

[28] Jing, S., Hou, K., Yan, J., Ho, Z. P., & Han, L. (2021). Investigating the effect of value stream mapping on procurement effectiveness: a case study. Journal of Intelligent Manufacturing, 32, 935-946.

[29] Gunaki, P., Devaraj, S., & Patil, S. (2022). Process optimization by value Stream Mapping. Materials Today: Proceedings, 54, 251-254.

[30] Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your London: Simon & Schuster UK Ltd.

[31] Womack, J. P. (2006). Value Stream Mapping. Manufacturing Engineering, 136 (5), 145-156.

[32] Lasa, I. S., Laburu, C. O., & de Castro Vila, R. (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. Business process management journal, 14 (1), 39-52.

[33] Chowdary, B. V., & George, D. (2012). Improvement of manufacturing operations at a pharmaceutical company: a lean manufacturing approach. Journal of Manufacturing Technology Management, 23 (1), 56-75.

[34] Nash, M. A., & Poling, S. R. (2011). Mapping the total value stream: a comprehensive guide for production and transactional processes. CRC Press.

[35] Myerson, P. (2012). Lean supply chain and logistics management. McGraw-Hill Education.

[36] Rocha-Lona, L., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2013). Building quality management systems: selecting the right methods and tools. CRC press.

[37] Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Chong, H. Y. (2017). A cross-sector review on the use of value stream mapping. International Journal of Production Research, 55 (13), 3906-3928.

[38] Singh, H., Bahl, A., Kumar, A., & Mann, G. S. (2018). Materials and information flow analysis and optimization of manufacturing processes in MSMEs by the application of value stream mapping (VSM) technique. Materials Today: Proceedings, 5 (14), 28420-28426.

[39] Razali, N. M., & Ab Rahman, M. N. (2019, August). Value Stream Mapping–A Tool to Detect and Reduce Waste for a Lean Manufacturing System. In Proceedings of the International Manufacturing Engineering Conference & The Asia Pacific Conference on Manufacturing Systems (pp. 266-271). Springer, Singapore.

[40] Lasa, I. S., Castro, R. D., & Laburu, C. O. (2009). Extent of the use of Lean concepts proposed for a value stream mapping application. Production Planning & Control, 20 (1), 82-98.

[41] Pepper, M. P., & Spedding, T. A. (2010). The evolution of lean Six Sigma. International Journal of Quality & Reliability Management. 27 (2), 138-155.

[42] Garza-Reyes, J. A., Romero, J. T., Govindan, K., Cherrafi, A., & Ramanathan, U. (2018). A PDCA-based approach to environmental value stream mapping (E-VSM). Journal of Cleaner Production, 180, 335-348.

[43] Seyedhosseini, S. M., Taleghani, A. E., Makui, A., & Ghoreyshi, S. M. (2013). Fuzzy value stream mapping in multiple production streams: A case study in a parts manufacturing company. International Journal of Management Science and Engineering Management, 8 (1), 56-66.

[44] Dal Forno, A. J., Pereira, F. A., Forcellini, F. A., & Kipper, L. M. (2014). Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 72 (5-8), 779-790.

[45] Dinis-Carvalho, J., Moreira, F., Bragança, S., Costa, E., Alves, A., & Sousa, R. (2015). Waste identification diagrams. Production Planning & Control, 26 (3), 235-247.

[46] Seifullina, A., Er, A., Nadeem, S. P., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2018). A lean implementation framework for the mining industry. Ifac-Papersonline, 51 (11), 1149-1154.

[47] Barber, C. S., & Tietje, B. C. (2008). A research agenda for value stream mapping the sales process. Journal of Personal Selling & Sales Management, 28 (2), 155-165.

[48] Grewal, C. (2008). An initiative to implement lean manufacturing using value

stream mapping in a small company. International Journal of Manufacturing Technology and Management, 15 (3-4), 404-417.

[49] Seth, D., Seth, N., & Goel, D. (2008). Application of value stream mapping (VSM) for minimization of wastes in the processing side of supply chain of cottonseed oil industry in Indian context. Journal of Manufacturing Technology Management, 19 (4), 529-550.

[50] Singh, B., & Sharma, S. K. (2009). Value stream mapping as a versatile tool for lean implementation: An Indian case study of a manufacturing firm. Measuring business excellence, 13 (3), 58-68.

[51] Chen, J. C., Li, Y., & Shady, B. D. (2010). From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study. International Journal of Production Research, 48 (4), 1069-1086.

[52] Bo, M. E. N. G., & Dong, M. (2012). Research on the lean process reengineering based on value stream mapping for Chinese enterprises. Management Science and Engineering, 6 (2), 103-106.

[53] Joshi, M. R. R., & Naik, G. R. (2012). Process improvement by using value stream mapping: A case study in small scale industry. International Journal of Engineering Research and Technology, 1 (5), 1-10.

[54] Rosienkiewicz, M. (2012). Idea of adaptation value stream mapping method to the conditions of the mining industry. AGH Journal of Mining and Geoengineering, 36 (3), 301-307.

[55] Teichgräber, U. K., & de Bucourt, M. (2012). Applying value stream mapping techniques to eliminate non-value-added waste for the procurement of endovascular stents. European journal of radiology, 81 (1), e47-e52.

[56] Jasti, N. V. K., & Sharma, A. (2014). Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry. International Journal of Lean Six Sigma, 5 (1), 89-116.

[57] Manjunath, M., Shivaprasad, H. C., KS, K. K., & Puthran, D. (2014). Value stream mapping as a tool for lean implementation: A case study. International Journal of Innovative Research & Development, 3 (5), 477-481.

[58] Parthanadee, P., & Buddhakulsomsiri, J. (2014). Production efficiency improvement in batch production system using value stream mapping and simulation: a case study of the roasted and ground coffee industry. Production Planning & Control, 25 (5), 425-446.

[59] Saboo, A., Garza-Reyes, J. A., Er, A., & Kumar, V. (2014). A VSM improvement-based approach for lean operations in an Indian manufacturing SME. International Journal of Lean Enterprise Research, 1 (1), 41-58.

[60] Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. International journal of production economics, 160, 202-212.

[61] Henrique, D. B., Rentes, A. F., Godinho Filho, M., & Esposto, K. F. (2016). A new value stream mapping approach for healthcare environments. Production Planning & Control, 27 (1), 24-48.

[62] Stadnicka, D., & Litwin, P. (2017). Value stream and system dynamics analysis-an automotive case study. Procedia Cirp, 62, 363-368.

[63] Knoll, D., Reinhart, G., & Prüglmeier, M. (2019). Enabling value stream mapping for internal logistics using multidimensional process mining. Expert Systems with Applications, 124, 130-142.

[64] Wicaksono, S. R., & Setiawan, R. (2019, March). Lean Manufacturing Machine using Value Stream Mapping. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1175, No. 1, p. 012118). IOP Publishing.

[65] Kant, D. K., & Shrutika, P. (2020, July). A Case Study on Impact of Value Stream

Mapping as a Lean Diagnostic Tool on the operational performance of a Medium Enterprise. In 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4) (pp. 47-52). IEEE.

[66] Martin, N. L., Dér, A., Herrmann, C., & Thiede, S. (2020). Assessment of Smart Manufacturing Solutions Based on Extended Value Stream Mapping. Procedia CIRP, 93, 371-376.

[67] Rivera, L., & Chen, F. F. (2007). Measuring the impact of Lean tools on the cost–time investment of a product using cost–time profiles. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 23 (6), 684-689.

[68] Saffari, A., Sereshki, F., Ataei, M., & Ghanbari, K. (2013). Applying rock engineering systems (RES) approach to evaluate and classify the coal spontaneous combustion potential in Eastern Alborz coal mines. International Journal of Mining and Geo-Engineering, 47(2), 115-127.