Journal of Health and Safety at Work 2024; 14(1): 92-104

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Studying the Effectiveness of Using Intelligent Mining Machinery Systems on Health, Safety, and Environmental Parameters and Preventive Maintenance

Masoumeh Khoshkerdar[1], Reza Saeedi[1,2], Amin Bagheri[1,2], Mohammad Hajartabar[1,2], Mohammad Darvishi[3], Reza Gholamnia[1,2*]

[1]Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
[2]Workplace Health Promotion Research Center, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
[3]Department of Health, Safety, Environment and Energy, Apadana Kavosh Iranian Company, Tehran, Iran.

Received: 19 - 6 - 2023 Accepted: 11 - 3 - 2024

ABSTRACT

Introduction: The goal of this study is to investigate how the development of technology has affected the industry (especially the mining industry). For this purpose, this paper examines the impact of intelligent mining machinery systems, including tire pressure monitoring systems (TPMS), dispatching systems, and vehicle health monitoring systems (VHMS), on health, safety, and environmental parameters and preventative maintenance.

Material and Methods: This study is descriptive-analytical research that was conducted between time intervals before and after employing the intelligent mining machinery systems. Initially, parameters were identified using the Delphi method. These parameters include human accidents, equipment accidents, environmental incidents, warnings and fines in the domains of health, safety, and the environment, tire usage parameters, the shelf life of the tire, oil overfill, fuel consumption, failure rate, mean time between failures, and preventive maintenance compliance schedules in the domain of preventative maintenance. The effectiveness of using these systems was then assessed by comparing the state of the specified parameters before and after the introduction of the intelligent mining machinery systems.

Results: The findings of this research indicate that using intelligent mining machinery systems will decrease equipment accidents by 33.3%, extend the useful life of tires by 7.1%, reduce fuel consumption by 14.6%, cut the mean time required to repair by 25.5%, and enhance preventive maintenance compliance schedules by 5.7%.

The findings showed the effectiveness of the use of intelligent systems of mining machines was obtained as follows: reduction of equipment accidents by 33.3%, increasing the useful life of tires by 7.1%, reducing fuel consumption by 14.6%, reducing the average downtime of the car for repair by 25.5% and increasing compliance with the maintenance program by 5.7%.

Conclusion: Utilizing intelligent mining machinery systems might have a positive impact on the safety of machines, reduce negative environmental effects like fuel consumption, and improve the maintenance of heavy machinery, which would lead to better mining conditions and lower costs.

Keywords: *Intelligent systems, Mining machinery, Environment, health, and safety, Preventive maintenance*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Khoshkerdar M, Saeedi R, Bagheri A, Hajartabar M, Darvishi M, Gholamnia R. Studying the Effectiveness of Using Intelligent Mining Machinery Systems on Health, Safety, and Environmental Parameters and Preventive Maintenance. J Health Saf Work. 2024; 14(1): 92-104.

* Corresponding Author Email: *gholamnia@sbmu.ac.ir*

Copyright © 2024 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

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

1. INTRODUCTION

To guarantee the efficient and well-coordinated development of intelligent transport systems, it is essential to comprehend individual performance and how it affects traffic safety. On the other hand, cutting down on the mean repair time of a car and miscellaneous costs is a crucial goal for effective technology use. Additionally, intelligent transport systems could be implemented to decrease fuel usage and pollutant emissions. Komatsu has designed machinery to monitor and diagnose the condition of heavy equipment. The equipment includes a vehicle health monitoring system (VHMS). In actuality, VHMS is a controller that continuously gathers data about performance status and makes early diagnoses of problematic system symptoms. A dispatching system is a management system that controls mining operations in a mine in an intelligent manner. This system consists of two components: hardware and software. Several sensors are put on tracks, shovels, drills, etc. as part of the hardware component. The dispatching unit receives all the information online. The software then processes the information. In addition to defining safety parameters, the impact of using these technologies on safety could also be examined. Moreover, a tire pressure monitoring system (TPMS) is a system that notifies the driver when the tire pressure exceeds a predetermined level.

The key performance indicators (KPIs) are the essential elements in measuring and monitoring the health, safety, and environment (HSE) systems. In this study, parameters of human accidents, equipment accidents, warnings and fines have been investigated. The studies that have been carried out in this field so far have measured the role of different equipment and technologies in various issues.

This study is the first to evaluate the effectiveness

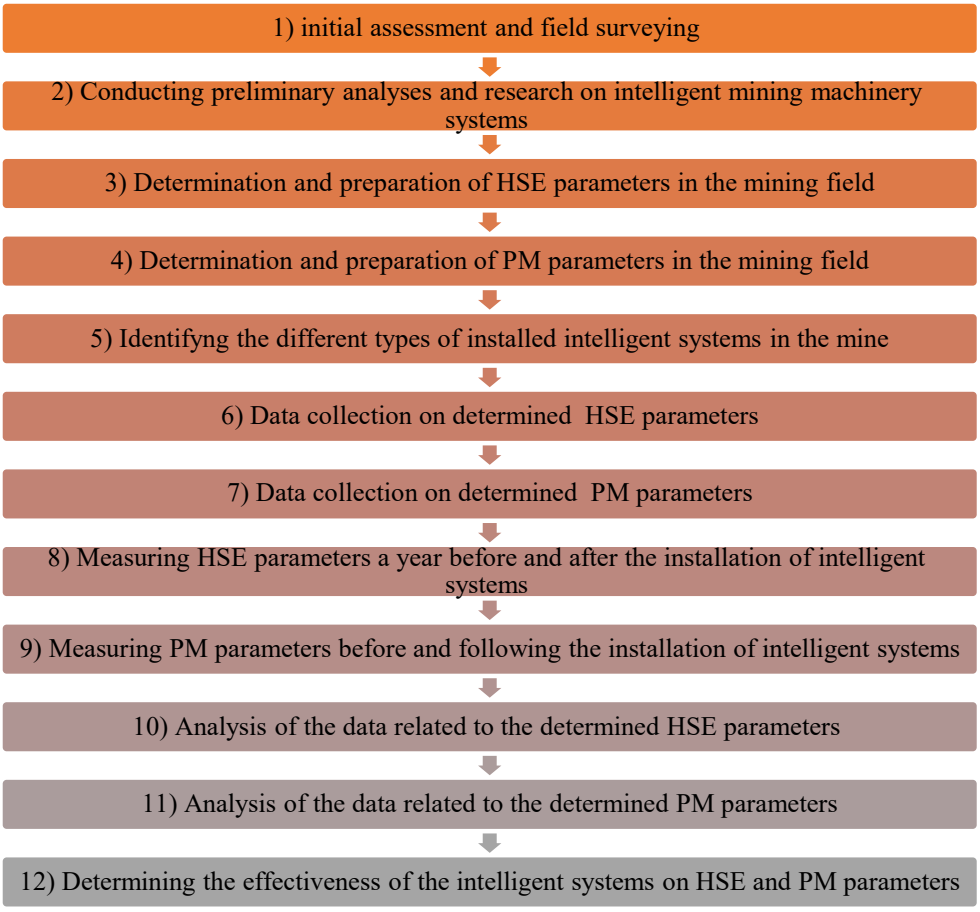


Fig. 1: The twelve steps of the research in three phases (the preliminary examination and identification of parameters, collecting data, and data analysis)

of utilizing three intelligent systems, including TPMSs, VHMSs, and dispatching systems, on parameters like human accidents, equipment accidents and warnings and fines. As a result, this research is essential for boosting awareness, gathering data for management, and making decisions to modernize and improve the current mining industry.

2. MATERIAL AND METHODS

The data regarding the HSE parameters and preventive maintenance (PM) was identified. The parameters included human accidents, equipment accidents, environmental incidents, warnings and fines, oil overfill, fuel consumption, tire usage parameters, the shelf life of the tire, failure rate, mean time between failures, and preventive maintenance compliance. The data was divided into two categories before and after the establishment of the mentioned intelligent system. To gather the data, checklists, paper documents, online documents, and other registered data were used. The process consists of three major phases, including the preliminary examination and identification of parameters, collecting data, and data analysis. These twelve steps shown in Fig. 1.

3. RESULTS AND DISCUSSION

There are four and seven parameters linked to HSE and PM, respectively. A total of 24 instances for each parameter are taken into account. There are 12 parameters before and 12 after using the intelligent systems. The collected data is described in Tables 1 and 2. Results from the Mann-Whitney U test showed that after the implementation of intelligent mining machinery systems, various parameters

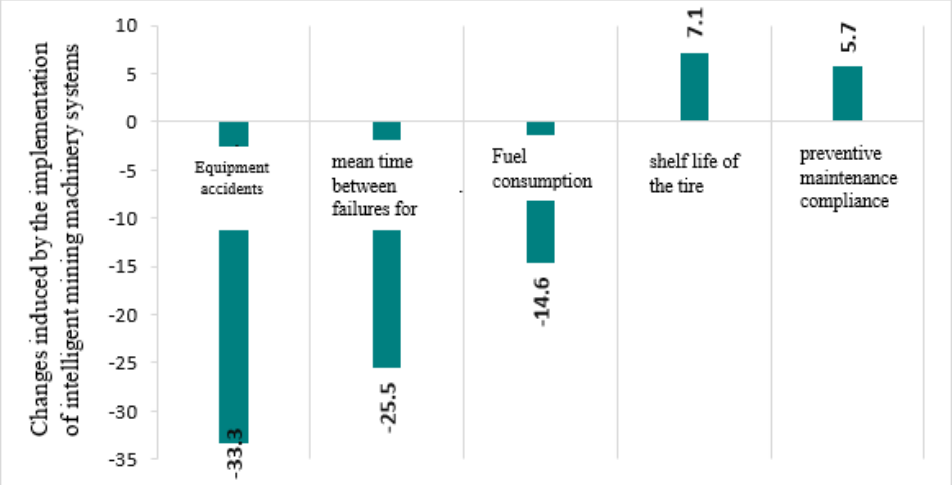


Fig. 2: The effectiveness of using intelligent mining machinery systems on determined parameters

Table 1: Frequency distribution of studies based on place of research and type of environment

Parameter Type	Parameter	Frequency	
		Before	After
HSE	human accidents (Frequency)	8	6
HSE	equipment accidents (Frequency)	75	50
HSE	environmental incidents (Frequency)	2	1
HSE	warnings and fines (Frequency)	154	173
PM	tire usage (number of used tires)	44111	53524
PM	shelf life of the tire (Hour)	57332	61372
PM	oil overfill (Liter)	38122	35987
PM	fuel consumption (Liter)	671930	573984
PM	failure rate (%)	321	314
PM	mean time between failures for machine repair (Hour)	19817	14755
PM	preventive maintenance compliance (%)	882	932

Table 2: The data analysis results for the chosen parameters at the mining site

parameter Type	Parameter	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	Exact Sig. [2* (1-tailed Sig.)]	p-value
HSE	human accidents	62/0	140/0	-0/653	0/514	.590b	0.514
HSE	equipment accidents)	34/0	112/0	-2/223	0/046	.028b	0.046
HSE	environmental incidents	66/0	144/0	-0/604	0/546	.755b	0.546
HSE	warnings and fines	58/5	136/5	-0/782	0/434	.443b	0.434
PM	tire usage	56/5	134/5	-0/904	0/366	.378b	0.366
PM	shelf life of the tire	35/0	113/0	-2/136	0/033	.033b	0.033
PM	oil overfill	57/0	135/0	-0/866	0/386	.410b	0.386
PM	fuel consumption	32/0	110/0	-2/309	0/021	.020b	0.021
PM	failure rate	61/5	139/5	-0/611	0/541	.551b	0.541
PM	mean time between failures for machine repair	37/0	115/0	-2/021	0/043	.045b	0.043
PM	preventive maintenance compliance	37/5	115/5	-1/997	0/046	.045b	0.046

such as equipment accidents, shelf life of the tire, fuel consumption, mean time between failures for machine repair, and preventive maintenance compliance in the period after the use of intelligent mining machinery systems significantly improved ($p < 0.05$) compared to the period before the use of these systems.

4. CONCLUSIONS

The results of the analysis indicated that using intelligent mining machinery systems could lead to favorable effects in the domain of machinery safety, reducing the environmental effects such as fuel consumption, and preventative maintenance conditions of heavy machines. Some of the parameters in this study did not lead to a noticeable change. These parameters include equipment accidents, warnings and fines, tire usage, oil overfill, and failure rate. This can be because of how they were recorded or because of the study period. Therefore, it is recommended to increase the instance size and maintain consistent recording mechanisms for warnings and fines to obtain more accurate results in future works.

5. ACKNOWLEDGMENT

The study was founded by Shahid Beheshti University of Medical Sciences (SBMU).

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۴/ شماره ۱/ بهار ۱۴۰۳ صفحات ۹۲-۱۰۴

بررسی میزان اثربخشی استفاده از سامانه‌های هوشمند ماشین آلات معدنی بر پارامترهای بهداشت، ایمنی و محیط زیست و نگهداشت پیشگیرانه

معصومه خوش کردار[۱]، رضا سعیدی[۱،۲]، امین باقری[۱،۲]، محمد حجارتبار[۱،۲]، محمد درویشی[۳]، رضا غلام نیا[۱،۲*]

[۱]گروه مدیریت بهداشت ایمنی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲]مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت محیط کار، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۳]دپارتمان بهداشت، ایمنی، محیط زیست و انرژی، شرکت آپادانا کاوش ایرانیان، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

چکیده

مقدمه: به منظور شناسایی و بررسی اثرات ظهور فناوری در صنعت و به خصوص صنعت معدن، در این مطالعه تاثیر استفاده از سامانه‌های هوشمند ماشین‌آلات، شامل سیستم نظارت بر سلامت خودرو (VHMS: Vehicle health monitoring system)، سیستم کنترل هوشمند عملیات معدنکاری (Dispatching) و سنسور پایش فشار باد لاستیک (TPMS: Tire pressure monitoring system) بر پارامترهای بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و نگهداشت پیشگیرانه در صنعت معدن مورد بررسی قرار گرفت.

روش کار: پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی- تحلیلی است که در دو بازه زمانی قبل و بعد از به کارگیری سیستم‌های هوشمند ماشین آلات معدنی انجام شده است. در ابتدا پارامترهای بهداشت، ایمنی، محیط‌زیست و نگهداشت پیشگیرانه شناسایی شد، سپس با مقایسه و تحلیل وضعیت و استفاده از روش دلفی، پارامترهای منتخب پیش‌و پس از راه اندازی سامانه‌های هوشمند ماشین‌آلات معدنی و میزان اثربخشی استفاده از این سامانه‌ها تعیین گردید.

یافته ها: یافته‌ها نشان داد که به کارگیری سیستم‌های هوشمند ماشین آلات معدنی با فرض ثابت بودن شرایط محیطی منجر به کاهش حوادث تجهیزاتی به میزان ۳۳/۳ درصد، افزایش عمر مفید لاستیک ۷/۱ درصد، کاهش مصرف سوخت ۱۴/۶ درصد، کاهش میانگین زمان خاموشی ماشین جهت تعمیر ۲۵/۵ درصد و افزایش مطابقت با برنامه نگهداشت ۵/۷ درصد شده است.

نتیجه‌گیری: استفاده از سامانه‌های هوشمند ماشین آلات معدنی می‌تواند اثرات مثبتی در زمینه ایمنی ماشین آلات، کاهش اثرات زیست‌محیطی از جمله مصرف سوخت و همچنین بهبود شرایط نگهداشت ماشین‌آلات سنگین داشته باشد که این امر منجر به بهبود شرایط استخراج و کاهش هزینه‌ها می‌گردد.

کلمات کلیدی: *سامانه‌های هوشمند، ماشین‌آلات معدنی، ایمنی بهداشت و محیط‌زیست، نگهداشت پیشگیرانه*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *gholamnia@sbmu.ac.ir*

مقدمه

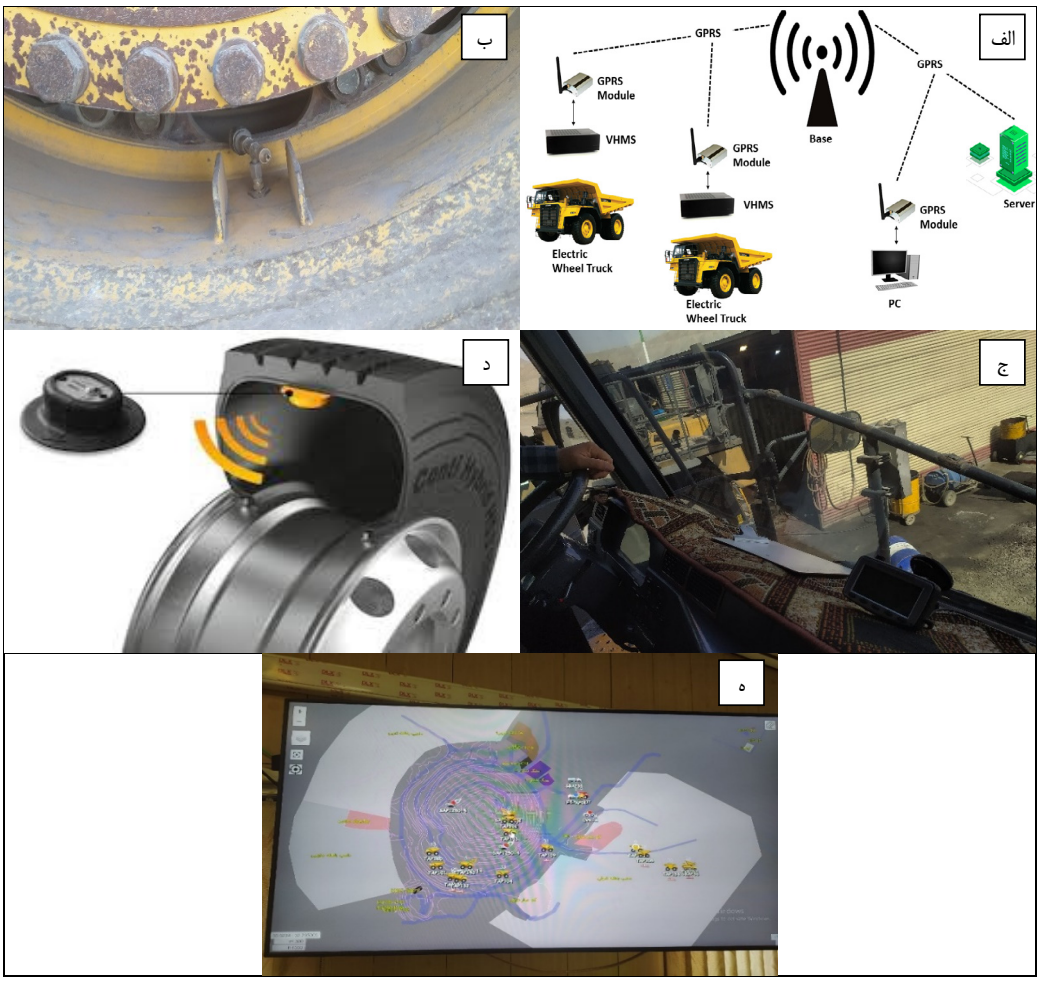
با پیشرفت فنآوری و ورود ماشین آلات صنعتی به حوزه‌های مختلف صنعت، تغییرات بسیاری در صنایع ایجاد شده است. صنعت معدن نیز از جمله صنایعی است که از فنآوری‌ها و ماشین آلات مدرن بهره می‌برد. لذا صنعت معدن نیز مستثنی از این شرایط نبوده و با گذر زمان و به روز شدن تجهیزات تغییرات زیاد رخ داده است (۱). تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه معدن بواسطه خطر بالای فعالیت‌های معدنی صورت گرفته است. با توجه مطالعه انجام گرفته بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در اسپانیا، نتایج نشان می‌دهد که حوادث صنعت معدن به طور چشمگیری از حوادث صنعت ساخت و ساز بیشتر است (۲).

به منظور حصول اطمینان از توسعه کارآمد و هماهنگ سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، شناخت عملکرد فردی (individual performance) و تأثیر آن‌ها بر ایمنی ترافیک ضروری است (۳). از طرفی کاهش زمان توقف خودرو و هزینه‌های متفرقه از طریق استفاده موثر از فناوری یک هدف مهم است (۴) و تعداد زیادی از نوآوری‌های اخیر و طرح‌های جدید (۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲) به انواع مسائل خاص مرتبط با تشخیص و نگهداری از راه دور ماشین آلات پرداخته‌اند. همچنین فن آوری‌های سیستم حمل و نقل هوشمند را می‌توان برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و کاهش مصرف سوخت پیاده‌سازی کرد (۱۳). بنابراین، لازم است بهبود قابل توجهی برای سیستم‌های حمل و نقل هوشمند (ITS: intelligent transport systems) انجام گردد تا مصرف سوخت و همچنین آلاینده‌ها را کاهش دهد تا منجر به جلوگیری از افزایش گرمایش جهانی و گازهای گلخانه‌ای شود (۱۴، ۱۵، ۱۶).

شرکت کوماتسو تجهیزاتی جهت نظارت و تشخیص سلامت برای ماشین‌آلات سنگین ایجاد کرده است. این تجهیزات شامل سیستم نظارت سلامت خودرو (VHMS: vehicle health monitoring system) است. VHMS در واقع کنترل‌کننده‌ای برای جمع‌آوری مداوم داده‌ها در مورد وضعیت عملکرد دستگاه و تشخیص زود هنگام علائم مشکل ساز دستگاه می‌باشد (۱۷). سیستم Dispatching یک سیستم مدیریتی جهت کنترل هوشمند عملیات معدنکاری در یک معدن می‌باشد. این سیستم متشکل از دو بخش سخت افزاری و نرم افزاری می‌باشد. سیستم سخت افزاری متشکل از چندین سنسور می‌باشد که بر روی تراک‌ها، شاول‌ها، دریل‌ها و... نصب می‌شوند. تمامی اطلاعات به صورت برخط به واحد دیسپچینگ ارسال شده و در نرم‌افزار تحلیل و بررسی می‌شود. ضمن تعیین شاخص‌های ایمنی می‌توان تاثیر استفاده این فناوری‌ها را بر ایمنی بررسی نمود. سنسور TPMS (TPMS: tire pressure monitoring system) نیز سیستمی است که وقتی فشار باد لاستیک خارج از حد تعیین شده باشد به راننده هشدار می‌دهد (۱۸).

شاخص‌های اصلی عملکرد (KPI: key performance indicator)، عناصر اساسی در روند اندازه‌گیری و نظارت بر سیستم‌های مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE: health، safety and environment) هستند (۱۹). در پژوهش حاضر پارامترهای حوادث انسانی، حوادث تجهیزاتی، اخطار و جریمه‌های نقدی بررسی شده‌اند.

لارسون و همکاران در سال ۲۰۱۰ پژوهشی در زمینه وسایل نقلیه زیرزمینی ارائه دادند زیرا معتقد بودند علی رغم معرفی فزاینده خودروهای خودران در صنعت معدن، ممکن است ایمنی بالا و بهره وری بالا را تامین نکنند و از طرفی هم همیشه قابل اجرا و یا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیستند، به عنوان مثال، کنترل از راه دور با اینکه یک گزینه جذاب است و ایمنی و راحتی رانندگان را افزایش می‌دهد اما متأسفانه، دشواری کارکرد وسیله نقلیه از راه دور اغلب منجر به کاهش بهره‌وری می‌شود. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که عملکرد استقلال محلی (local autonomy functionality) در وسایل نقلیه معدنی می‌تواند منجر به بهبود قابل توجهی در بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری در مقایسه با حالت عادی شود. چنین سیستمی معادن را قادر می‌سازد تا ایمنی اپراتورهای وسایل نقلیه معدنی را بهبود بخشند و بهره‌وری را بالا و هزینه‌های نگهداشت را پایین نگاه دارد (۲۰).



شکل ۱: سامانه‌های هوشمند ماشین‌آلات در صنعت معدن مورد بررسی در این مطالعه: (الف) عملکرد سیستم نظارت بر سلامت خودرو (VHMS: vehicle health monitoring system)، (ب) نمایی از سوپاپ سیستم نظارت بر فشار باد تایر (TPMS: tire pressure monitoring system)، (ج) نمایشگر سیستم نظارت بر فشار باد تایر (TPMS: tire pressure monitoring system) در کابین راننده، (د) شماتیک قرارگیری سنسور سیستم نظارت بر فشار باد تایر (TPMS: tire pressure monitoring system)، (ه) نمایشگر سیستم مدیریت ناوگان (Dispatching) در اتاق کنترل

اگیری جافری و همکاران در مطالعه (۲۱) به طراحی و استقرار نمونه‌ای از سیستم اینترنت اشیاء (IoT: internet of things) کم‌هزینه در یک معدن روباز متوسط برای بهینه‌سازی عملکرد تراک‌های کوچک و بیل‌های استخراج سطحی پرداختند. اینترنت اشیاء کم‌هزینه را می‌توان در عملیات‌های مقیاس متوسط پیاده‌سازی کرد تا جمع‌آوری اطلاعات مدیریتی فرآیند، که در حال حاضر به صورت دستی اندازه‌گیری می‌شود را خودکار نماید. بخشی از نتایج ارائه شده توسط سیستم‌های مدیریت ناوگان تجاری (FMS: commercial fleet management systems) عبارتند از محاسبه تعداد سیکل‌های تراک در هر شیفت، زمان بارگیری بیل، موقعیت تراک و بیل، میزان بار بر حسب تن جابجا شده در روز، سرعت تراک و متوسط راندمان ناوگان و ....

هاجر بنواچیر و همکاران در سال ۲۰۲۰ ساختاری برای سیستم مدیریت ناوگان هوشمند برای یک معدن روباز ارائه کردند که امکان کنترل وسایل نقلیه معدن را به صورت بی‌درنگ (real-time) فراهم می‌کند. سیستم پیشنهادی آن‌ها با استفاده از یک سیستم چند عاملی به سیستم مدیریت ناوگان اجازه می‌دهد تا چابکی خود را بهبود بخشد (۲۲).

در پژوهش حاضر میزان اثربخشی استفاده از سه سیستم هوشمند از جمله سیستم TPMS، سیستم VHMS و سیستم Dispatching بر پارامترهای حوادث انسانی، حوادث تجهیزاتی و پارامتر اخطار و جریمه می‌باشد که تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه انجام نشده است. با توجه به موارد فوق انجام این پژوهش ضروری است و منجر به افزایش آگاهی و کسب اطلاعات برای مدیریت و تصمیم‌سازی در زمینه ارتقا و بهبود شرایط فعلی صنعت معدن خواهد شد. شکل (۱) سیستم‌های مذکور نشان می‌دهد.

روش کار

این مطالعه توصیفی تحلیلی در سال ۱۴۰۰ در یک معدن سنگ آهن واقع در شمال شرقی شهرستان یزد انجام شده است. در ابتدا، داده‌های مربوط به پارامترهای HSE و (PM: preventive maintenance) شناسایی گردید. پارامترها شامل حوادث انسانی، تجهیزاتی، وقایع زیست محیطی، میزان اخطار و جریمه‌های صادر شده، مقدار سرریز روغن، مصرف سوخت، مصرف لاستیک، عمر مفید لاستیک، نرخ خرابی، میانگین زمان خاموشی ماشین و مطابقت با برنامه نگهداشت بود. داده‌ها در دو گروه قبل و بعد از راه اندازی سامانه‌های هوشمند مذکور دسته بندی گردید. از چک لیست‌ها، مستندات کاغذی و ثبت شده در رایانه و سایر اطلاعات ثبت شده برای جمع‌آوری داده استفاده شد. فرایند کار از ۳ مرحله اصلی شامل بررسی اولیه و شناسایی پارامترها، جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل و بررسی داده‌ها در ۱۲ گام تشکیل شده است که در شکل (۲) قابل ملاحظه می‌باشد.

۱. بررسی اولیه و شناسایی پارامترها

۱. بررسی اولیه و بازدیدهای میدانی جامعه مورد مطالعه و کسب مجوز برای حضور در سایت معدنی

۲. بررسی و مطالعات اولیه درباره سامانه‌های هوشمند معدنی

۳. تعیین و شناسایی پارامترهای HSE به کمک روش دلفی

۴. تعیین و شناسایی پارامترهای PM به کمک روش دلفی

۵. شناسایی انواع سامانه‌های هوشمند نصب شده در معدن

۲. جمع‌آوری داده‌ها

۱. جمع‌آوری داده‌های مربوط به پارامترهای تعریف شده HSE: داده‌های مربوط به پارامترهای HSE در دوره‌های قبل و بعد از هوشمندسازی از طریق حوادث گذشته، خسارات، چک لیست‌های بازدید و بازرسی و گزارش‌ها و سایر مستندات کسب گردید.

۲. جمع‌آوری داده‌های مربوط به پارامترهای تعریف شده PM: اطلاعات تعمیر و نگهداشت ماشین‌آلات در دوره پیش‌از هوشمندسازی از طریق سوابق تعمیر، چک لیست‌های بازدید و بازرسی و گزارش‌ها به دست می‌آمد و اطلاعات مرتبط با تعمیر و نگهداشت ماشین‌آلات در دوره پس از هوشمندسازی نیز توسط سنسورها و داده‌های تولید شده از سامانه‌های هوشمند و چک لیست‌های بازدید و بازرسی و گزارش‌ها به دست می‌آمد.

۳. محاسبه پارامترهای HSE در قبل و بعد از نصب سامانه‌های هوشمند: پارامترهای مرتبط با بهداشت، ایمنی و محیط زیست به دو دسته تقسیم گردید اطلاعات مرتبط با بهداشت، ایمنی و محیط زیست در دوره پیش‌از نصب و راه اندازی سامانه‌های هوشمند معدنی و دوره پس از آن.

۴. محاسبه پارامترهای PM در قبل و بعد از نصب سامانه‌های هوشمند: پارامترهای مرتبط با تعمیر و نگهداشت ماشین‌آلات به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از اطلاعات مرتبط با تعمیر و نگهداشت ماشین‌آلات در دوره پیش‌از نصب و راه اندازی سامانه‌های هوشمند معدنی و دوره پس از آن.

۳. تحلیل و بررسی داده‌ها

۱. تحلیل داده‌های مربوط به پارامترهای تعریف شده HSE

۲. تحلیل داده‌های مربوط به پارامترهای تعریف شده PM

شکل ۲: گام‌های دوازده‌گانه تحقیق در سه بخش (بررسی اولیه و شناسایی پارامترها، جمع آوری و تحلیل داده‌ها)

۳. تعیین اثربخشی سامانه‌های هوشمند بر پارامترهای HSE و PM:

تعداد ۴ پارامتر مربوط به HSE و ۷ پارامتر مربوط به PM شناسایی گردید. برای هر پارامتر، در مجموع ۲۴ نمونه در نظر گرفته شده است که ۱۲ مورد آن مربوط به پیش‌از استفاده از سامانه‌های هوشمند و ۱۲ مورد آن مربوط به پس از استفاده از سامانه‌های هوشمند می‌باشد. لازم به ذکر است که داده‌ها به صورت ماهیانه ثبت شده‌اند، به عبارت دیگر ۱۲ نمونه بیانگر ۱۲ ماه (یک سال) قبل و بعد از استقرار سامانه‌های هوشمند می‌باشند. نتایج تحلیل در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد. از نرم افزارهای Excell و SPSS برای ثبت و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. لازم به ذکر است تمامی داده‌های جمع‌آوری شده پیش‌از آغاز آنالیز نرمال گشته‌اند.

یافته ها

یافته‌های تحقیق در مرحله اول، شناسایی پارامترها در حوزه HSE است که عبارتند از تعداد حوادث انسانی، حوادث تجهیزاتی، وقایع زیست محیطی و میزان اخطار و جریمه‌های صادر شده، و همچنین پارامترهای شناسایی شده در حوزه PM که عبارتند از: مصرف لاستیک، عمر مفید لاستیک، مصرف روغن، مصرف سوخت، نرخ بروز خرابی، میانگین زمان خاموشی دستگاه به منظور تعمیر و مطابقت با برنامه نگهداشت. جدول (۱) به توصیف

جدول ۱: توصیف داده‌های مربوط به پیش و پس از راه اندازی سامانه‌های هوشمند ماشین آلات معدنی

نوع پارامتر	پارامتر	فراوانی	
		قبل	بعد
HSE	حوادث انسانی (تعداد)	۸	۶
HSE	حوادث تجهیزاتی (تعداد)	۷۵	۵۰
HSE	وقایع زیست محیطی (تعداد)	۲	۱
HSE	اخطار و جریمه (تعداد)	۱۵۴	۱۷۳
PM	مصرف لاستیک (حلقه)	۴۴۱۱۱	۵۳۵۲۴
PM	عمر مفید لاستیک (ساعت)	۵۷۳۳۲	۶۱۳۷۲
PM	مصرف روغن (لیتر)	۳۸۱۲۲	۳۵۹۸۷
PM	مصرف سوخت (لیتر)	۶۷۱۹۳۰	۵۷۳۹۸۴
PM	نرخ خرابی (درصد)	۳۲۱	۳۱۴
PM	میانگین زمان خاموشی دستگاه به منظور تعمیر (ساعت)	۱۹۸۱۷	۱۴۷۵۵
PM	مطابقت با برنامه نگهداشت (درصد)	۸۸۲	۹۳۲

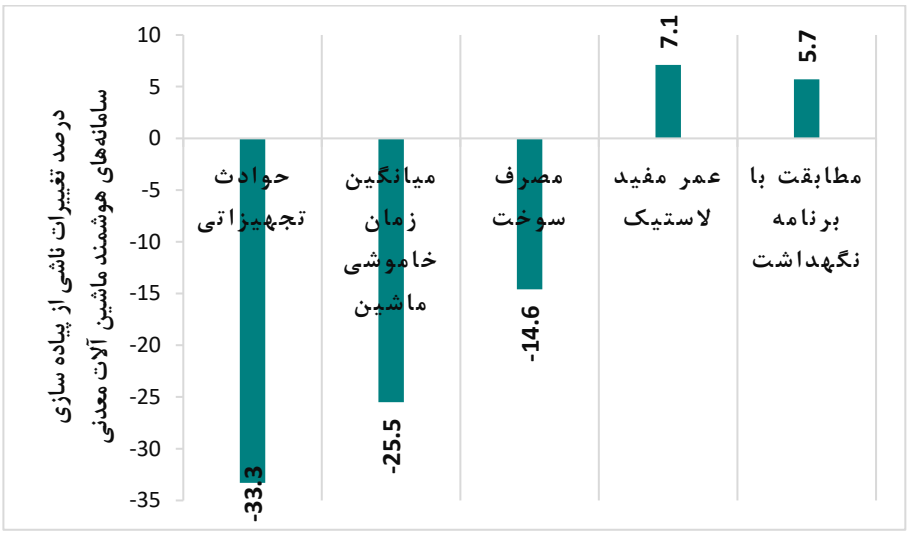
جدول ۲: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به پارامترهای منتخب بر اساس روش دلفی در سایت معدنی

نوع پارامتر	پارامتر	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	p-value
HSE	حوادث انسانی	۶۲/۰	۱۴۰/۰	-۰/۶۵۳	۰/۵۱۴	.۵۹۰[b]	۰/۵۱۴
HSE	حوادث تجهیزاتی	۳۴/۰	۱۱۲/۰	-۲/۲۲۳	۰/۰۴۶	.۰۲۸[b]	۰/۰۴۶
HSE	وقایع زیست محیطی	۶۶/۰	۱۴۴/۰	-۰/۶۰۴	۰/۵۴۶	.۷۵۵[b]	۰/۵۴۶
HSE	اخطار و جریمه	۵۸/۵	۱۳۶/۵	-۰/۷۸۲	۰/۴۳۴	.۴۴۳[b]	۰/۴۳۴
PM	مصرف لاستیک	۵۶/۵	۱۳۴/۵	-۰/۹۰۴	۰/۳۶۶	.۳۷۸[b]	۰/۳۶۶
PM	عمر مفید لاستیک	۳۵/۰	۱۱۳/۰	-۲/۱۳۶	۰/۰۳۳	.۰۳۳[b]	۰/۰۳۳
PM	مصرف روغن	۵۷/۰	۱۳۵/۰	-۰/۸۶۶	۰/۳۸۶	.۴۱۰[b]	۰/۳۸۶
PM	مصرف سوخت	۳۲/۰	۱۱۰/۰	-۲/۳۰۹	۰/۰۲۱	.۰۲۰[b]	۰/۰۲۱
PM	نرخ خرابی	۶۱/۵	۱۳۹/۵	-۰/۶۱۱	۰/۵۴۱	.۵۵۱[b]	۰/۵۴۱
PM	میانگین زمان خاموشی دستگاه به منظور تعمیر	۳۷/۰	۱۱۵/۰	-۲/۰۲۱	۰/۰۴۳	.۰۴۵[b]	۰/۰۴۳
PM	مطابقت با برنامه نگهداشت	۳۷/۵	۱۱۵/۵	-۱/۹۹۷	۰/۰۴۶	.۰۴۵[b]	۰/۰۴۶

داده‌های جمع‌آوری شده پرداخته است.

تعداد ۴ پارامتر مربوط به HSE و ۷ پارامتر مربوط به PM شناسایی گردید. برای هر پارامتر، در مجموع ۲۴ نمونه در نظر گرفته شده است که ۱۲ مورد آن مربوط به پیش‌از استفاده از سامانه‌های هوشمند و ۱۲ مورد آن مربوط به پس از استفاده از سامانه‌های هوشمند می‌باشد. لازم به ذکر است که داده‌ها به صورت ماهیانه ثبت شده‌اند، به عبارت دیگر ۱۲ نمونه بیانگر ۱۲ ماه (یک سال) قبل و بعد از استقرار سامانه‌های هوشمند می‌باشند. نتایج تحلیل در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد.

مطابق با آزمون آماری Mann-Whitney، نتایج آزمون در دو گروه مورد بررسی نشان داد که به طور معناداری ($p<0.05$)، پارامترهای حوادث تجهیزاتی، عمر مفید لاستیک، مصرف سوخت، میانگین زمان خاموشی دستگاه به منظور تعمیر و مطابقت با برنامه نگهداشت در دوره پس از راه اندازی سامانه‌های هوشمند ماشین آلات معدنی نسبت به دوره پیش‌از استفاده از سامانه‌های مذکور، بهبود داشته‌اند.



شکل ۳: میزان اثربخشی استفاده از سامانه‌های هوشمند ماشین آلات معدنی بر پارامترهای تعریف شده

بحث

همانگونه که در شکل (۳) آمده است، استفاده از سامانه‌های هوشمند ماشین آلات معدنی بر پارامترهای حوادث تجهیزاتی، پارامتر عمر مفید لاستیک، پارامتر مصرف سوخت، میانگین زمان خاموشی ماشین و مطابقت با برنامه نگهداشت به صورت معناداری اثر مثبت داشته است ($p\text{-value}<0.05$).

مطابق جدول (۲) پارامترهای حوادث تجهیزاتی، عمر مفید لاستیک، مصرف سوخت، میانگین زمان خاموشی ماشین و مطابقت با برنامه نگهداشت به صورت معنی‌دار ($p\text{-value}<0.05$) بهبود داشته‌اند، به عبارتی برای پارامترهای حوادث تجهیزاتی، مصرف سوخت و میانگین زمان خاموشی ماشین، روند تغییرات کاهشی و برای پارامترهای عمر مفید لاستیک و مطابقت با برنامه نگهداشت روند تغییرات افزایشی بوده است.

در مطالعه مافنی میس و همکاران (۲۳) در راستای گسترش مطالعات گذشته در زمینه نظارت بر رانندگان (supervisory coaching) که موجب کاهش حوادث رانندگی وسایل نقلیه سنگین شده بود، در مطالعه خود تاثیر نظارت بر رانندگی را بر سه پارامتر تعداد ترمزهای شدید وسیله نقلیه، تصادف‌های شدید در پیچ و سرعت بیش از حد بررسی کردند و نتیجه گرفتند که عوامل و فناوری‌هایی که بر حوادث رانندگی تأثیر می‌گذارد، می‌توانند به ذینفعان کمک کنند تا مداخلات و سیاست‌ها را برای رانندگی ایمن و به حداقل رساندن خطرات و هزینه‌ها در زمینه وسایل نقلیه سنگین (HGV[1]) توسعه دهند و بهبود بخشند. مطابق با یافته‌های مطالعه آزاد و همکاران (۲۴) عوامل رفتاری از قبیل سن، نوع مالکیت وسیله نقلیه و سابقه حادثه نقش به سزایی در وقوع حوادث رانندگی دارند.

آلاگارسمی و همکاران در مطالعه (۲۵) سیستم نظارت بر وسایل نقلیه الکترونیکی مبتنی بر اینترنت اشیا (E-VMS) را برای تشخیص زودهنگام تصادف و پاک‌سازی و سبزتر کردن محیط با استفاده از انرژی جایگزین ارائه می‌کند و نتایج مطلوبی حاصل کردند. همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده است، میزان اثربخشی استفاده از سامانه‌های هوشمند ماشین آلات معدنی برای هر کدام از پارامترهای مذکور آورده شده است. یافته‌های مطالعه نصیر و همکاران (۱۳) نیز در زمینه اثر استفاده از سیستم‌های حمل و نقل هوشمند بر کاهش مصرف سوخت نیز مطابقت با یافته‌های پژوهش است.

1. Heavy Good Vehicles

با توجه به مطالعه اگیری و همکاران (۲۱) قابلیت بررسی و مقایسه سرعت تراک‌ها یک شاخص ایمنی تحت کنترل است که می‌توان با تعیین حد مجاز سرعت در مسیرهای معمولی و مسیرهای شیب‌دار، گزارشی از تخلفات (تجاوز از سرعت مجاز) دریافت کرد. با توجه به نتایج مطالعه ویتکس و همکاران (۳) که نشان داد اقدامات سیستم حمل و نقل هوشمند می‌تواند تأثیر مثبتی بر ایمنی ترافیکی داشته باشد، اما با این حال، جهت دستیابی به نتایج بهتر، باید اثر ترکیبی عملکرد فردی (individual performances) ارزیابی گردد. در این مطالعه هم نتایج مشابهی به دست امد که ضمن بهبود شاخص‌های ایمنی توصیه می‌شود سایر پارامترهای اثرگذار لحاظ گردند.

نتیجه گیری

نتایج بررسی‌ها نشان داد که استفاده از سامانه‌های هوشمند ماشین آلات معدنی می‌تواند اثرات مثبتی در زمینه ایمنی ماشین آلات، کاهش اثرات زیست‌محیطی از جمله مصرف سوخت و همچنین بهبود شرایط نگهداشت ماشین‌آلات سنگین داشته باشد. پارامترهایی از جمله حوادث انسانی، وقایع زیست محیطی، اخطار و جریمه، مصرف لاستیک، مصرف روغن و نرخ بروز خرابی، پارامترهایی بودند که طی بررسی در این مطالعه تفاوت معناداری از آن‌ها به دست نیامد، این امر ممکن است به دلیل مکانیزم‌های ثبت این موارد و یا دوره مطالعه بوده باشد، بنابراین توصیه می‌شود در مطالعات آینده با افزایش حجم نمونه آزمایش و یکسان نگاه داشتن مکانیزم ثبت اخطار و جریمه، عوامل را کنترل کرده و نتایج دقیق‌تری به دست آورد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند مراتب قدردانی و تشکر خود را از عوامل محترم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و شرکت آپادانا کاوش ایرانیان که شرایط لازم برای انجام این تحقیق را فراهم آوردند، اعلام نمایند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاقی پژوهش

کد اخلاق این مطالعه از کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی به شناسه اختصاصی IR.SBMU.PHNS.REC.1400.108 دریافت گردید.

حامی مالی

در مطالعه حاضر از هیچ منبع و مرجعی تامین هزینه صورت نگرفته است و صرفاً تامین آن توسط نویسندگان بوده است.

تعارض منافع

بنابر اظهارات نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی مشاهده نگردید.

REFERENCES

1. Lööw J, Abrahamsson L, Johansson J. Mining 4.0—The impact of new technology from a work place perspective. Min Metall Explor. 2019;36:701-7.
2. Felipe-Blanch JJ, Freijo-Álvarez M, Alfonso P, Sanmiquel-Pera L, Vintró-Sánchez C. Occupational injuries in the mining sector (2000-2010). Comparison with the construction sector. Dyna. 2014;81(186):153-8.
3. Vaitkus A, Strumskys M, Jasiūnienė V, Jateikienė L, Andriejauskas T, Skrodenis D. Effect of intelligent transport systems on traffic safety. BJRBE. 2016;1 1(2):136-43.
4. You S, Krage M, Jalics L. Overview of remote diagnosis and maintenance for automotive systems. SAE Technical Paper; 2005. Report No.: 0148-7191.
5. Allen R, Norwood W. Vehicle service and maintenance tracking systems. Google Patents; 2002.
6. Campos FT, Mills WN, Graves ML, editors. A reference

architecture for remote diagnostics and prognostics applications. Proceedings, IEEE Autotestcon; 2002: IEEE.
7. Deb S, Domagala C, Ghoshal S, Patterson-Hine A, Alena R, editors. Remote diagnosis of the International Space Station utilizing telemetry data. Component and Systems Diagnostics, Prognosis, and Health Management; 2001: SPIE.
8. Dix PJ. Remote vehicle diagnostic system. Google Patents; 2004.
9. Heil J, Freed C, Trella M. Remote diagnostic system to increase productivity. Iron Steel Eng. 1998;75(2):60-2.
10. Klausner M, Dietrich A. Autonomous in-vehicle navigation system and diagnostic system. Google Patents; 2008.
11. Qiu C-d, Ren G. A real-time remote fault diagnosis system from marine vessels with simulation studies. J Syst Simul. 2002;14(10):1376-9.
12. Suman MJ, Welling TL, Zeinstra ML, Lhamon RT, Nichelson MT. Vehicle communication and remote control system. Google Patents; 2000.
13. Nasir MK, Md Noor R, Kalam M, Masum B. Reduction of fuel consumption and exhaust pollutant using intelligent transport systems. Sci World J. 2014;2014.
14. Ahmed M, Sattari MRJ, Nasir MK, Ghahremani S, Khorsandroo S, Ali SAS, et al. Vehicle adhoc sensor network framework to provide green communication for urban operation rescue. Lect Notes Inf Theory. 2013;1(2).
15. Hartenstein H, Laberteaux L. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. IEEE Commun Mag. 2008;46(6):164-71.
16. Karagiannis G, Altintas O, Ekici E, Heijenk G, Jarupan B, Lin K, et al. Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. IEEE Commun Surv Tutor. 2011;13(4):584-616.
17. Murakami T, Saigo T, Ohkura Y, Okawa Y, Taninaga T. Development of vehicle health monitoring system (VHMS/WebCARE) for large-sized construction machine. KSCE J Civ Eng. 2002;48(150):15-21.
18. Velupillai S, Guvenc LJ. Tire pressure monitoring [applications of control]. IEEE Control Syst Mag. 2007;27(6):22-5.
19. Haas EJ, Yorio PJ. Exploring the state of health and safety management system performance measurement in mining organizations. Saf Sci. 2016;83:48-58.
20. Larsson J, Broxvall M, Saffiotti A, editors. An evaluation of local autonomy applied to teleoperated vehicles in underground mines. 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation; 2010: IEEE.
21. Aguirre-Jofré H, Eyre M, Valerio S, Vogt D. Low-cost internet of things (IoT) for monitoring and optimising mining small-scale trucks and surface mining shovels. Autom Constr. 2021;131:103918.
22. Bnouachir H, Semmar A, Medromi H. Intelligent Fleet Management System for Open Pit Mine.
23. Mase JM, Majid S, Mesgarpour M, Torres MT, Figueredo GP, Chapman P. Evaluating the impact of heavy goods vehicle driver monitoring and coaching to reduce risky behaviour. Accid Anal Prev. 2020;146:105754.
24. Azad P, Halvani GH, Najimi MR, Kouhnavard B. Investigating the role of behavioral factors in non-fatal accidents of urban and suburban driver. JHSW. 2015;5(3):13-20.
25. Alagarsamy M, Kasinathan P, Manickam G, Duruvarajan PR, Sakkarai J, Suriyan K. IoT based E-vehicle monitoring system using sensors and imaging processing algorithm. Int J Reconfigurable Embed Syst. 2022;2089(4864):4864.