نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی
Tunneling & Underground Space Engineering (TUSE)
tuse.shahroodut.ac.ir
دوره‌ی ۱۴- شماره‌ی ۲/زمستان ۱۴۰۴

استفاده از نقشه جریان ارزش در بهبود عملکرد بخش پیشروی تونلسازی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ (مطالعه موردی: شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی)

مقاله پژوهشی

کرامت قنبری تیلمی[1*]؛ محمد عطائی[2]؛ فرهنگ سرشکی[3]؛ علی نوری قراحسنلو[4]؛ عباس برآبادی[5]

۱- دانشجوی دکترای استخراج معدن؛ دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، keramat_ghanbari@yahoo.com

۲- استاد؛ دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ataei@shahroodut.ac.ir

۳- استاد؛ دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، farhang@shahroodut.ac.ir

۴- استادیار؛ دانشگاه ترومسو نروژ، ali_nouri@eng.ikiu.ac.ir

۵- استاد؛ دانشگاه ترومسو نروژ، abbas.b.abadi@uit.no

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۴/۰۷/۰۹

شماره صفحات: ۱۷۵ تا ۱۹۶

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22044/tuse.2025.16048.1500

واژگان کلیدی

تولید ناب
نقشه جریان ارزش
هدر رفت‌ها
بخش پیشروی معادن تونل
معادن زیرزمینی زغال‌سنگ

چکیده

اجرای تولید ناب در واحدهای معدنی تأثیر مستقیم و به سزایی در ارتقای جایگاه رقابتی این قبیل واحدها و سودآور بودن آن‌ها خواهد داشت. کاهش زمان تولید که از طریق کاهش تلفات پنهان و آشکار و هموار کردن روند کار اتفاق می‌افتد، منابع زمانی و تولیدی زیادی را در اختیار این واحدها قرار داده و به طور غیرمستقیم باعث کاهش قیمت تمام شده محصولات خواهد شد. هدف از مطالعه حاضر، شناسایی فرصت‌های بهبود و ارتقاء فرآیندهای بخش پیشروی تونل‌ها در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ 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 گردیده است. زمان سپری شده برای هر اقدام، از زمان شروع تا انتهای هر فرآیند در بخش پیشروی اندازه‌گیری شد و در نقشه جریان ارزش ثبت شد. پس از آن در جلسات مختلف، بحث گروهی با حضور کارشناسان و مدیران بخش‌های مرتبط، نقشه ترسیم و تحلیل شد و منابع اتلاف شناسایی گردید و با استفاده از ابزارهای تفکر ناب، نقشه جریان ارزش طراحی گردید. نتایج نشان داد که کل زمان یک سیکل پیشروی به طور میانگین ۸۵۲ دقیقه بود که ۳۹۰ دقیقه آن زمان در انتظار بود که بیش از ۴۵ درصد از زمان کل بخش پیشروی را به خود اختصاص داده است. بعد از شناسایی منابع اتلاف، ابزار مناسب برای رفع آن پیشنهاد شد. 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.

۱- مقدمه

امروزه به خاطر تمرکز زیاد 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

* سمنان؛ شاهرود؛ میدان هفت تیر؛ بلوار دانشگاه؛ دانشگاه شاهرود؛ دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک؛ طبقه‌ی سوم؛ کدپستی: ۳۶۱۹۹۹۵۱۶۱؛ صندوق پستی: ۳۱۶؛ شماره‌ی تلفن: ۰۲۳-۳۲۳۰۰۳۰۰؛ دورنگار: ۰۲۳-۳۲۳۰۰۲۸۰

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 (*Jia et al., 2017*).

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 (*Value Stream Mapping*) است که از آن به عنوان رابط و پلی بین مفاهیم و روش‌های ناب یاد می‌شود (*Ng et al., 2010*).

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 تجزیه‌وتحلیل 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 (*Rother & Shook, 2003*).

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 (*Saraswat et al., 2014; Zahraee et al., 2020*).

تولید ناب از دیدگاه کاربردی و عملیاتی شامل پیاده-سازی مجموعه‌ای از ابزارها و روش‌هایی است که درصدد کاهش ضایعات (*Muda*) 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 (*Abdulmalek & Rajgopal, 2007*).

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 کارگاه‌های استخراج برنامه‌ریزی می‌شود. بر این اساس، زغال‌سنگ‌های 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، بخش پیشروی تونل‌ها و آماده‌سازی لایه‌های زغالی برای ایجاد 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 پیشروی تونل‌ها با استفاده از نقشه جریان ارزش در معادن زغال‌سنگ البرز شرقی انجام شد.

۲- پیشینه تحقیق

Braglia و همکارانش در سال ۲۰۰۹، بیان کردند در روش استاندارد *VSM*، داده‌ها به صورت قطعی و بدون توجه به تغییرپذیری واقعی فرآیند بر روی نقشه ثبت می‌شوند که این یک محدودیت جدی است؛ زیرا به خصوص در فرآیندهای تولیدی، تغییرپذیری تأثیر قابل‌توجهی بر هزینه‌ها دارد و منجر به ضایعات متعددی می‌شود.

Singh و همکارانش در سال ۲۰۱۱، پس از بررسی و طبقه‌بندی تحقیقات پیشین در مورد *VSM* تا سال ۲۰۱۰، به کاربرد *VSM* در یک مطالعه موردی در یک صنعت تولیدی کوچک مقیاس در کشور هند پرداختند.

Shukla و *Trivedi* در سال ۲۰۱۲، به بهبود بهره‌وری در صنعت معدن زغال‌سنگ با استفاده از تولید ناب پرداختند.

Liu 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.

Belekoukias و همکارانش در سال ۲۰۱۴، به بررسی تأثیر پنج روش اساسی ناب، یعنی *JIT*، اتوماسیون، کایزن، نگهداری مولد کل *(Total Productive Maintenance)* 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.

Kumar 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.

Saraswat و همکارانش در سال ۲۰۱۴، بیان کردند که تولیدکنندگان با چالش‌های کاهش هزینه و افزایش کارآیی روبرو هستند. آن‌ها نیاز به یافتن راه‌هایی برای کاهش زمان تولید، هزینه‌ها و هدر رفت‌ها برای بهبود عملکرد و کیفیت محصول برای بقا در دنیای کاملاً رقابتی امروز را دارند. یکی از این راه‌حل‌ها استفاده از روش *VSM* است.

Venkataraman و همکارانش در سال ۲۰۱۴، به کاربرد نقشه جریان ارزش در فرآیند سیستم تولید میل‌لنگ در یک کارخانه خودروسازی واقع در جنوب هند پرداخته‌اند. مشکلات موجود در این سیستم شامل زمان زیاد پردازش، تعداد زیاد کارگران، مصرف منابع زیاد انرژی، موجودی زیاد، ضایعات زیاد و چرخه زمانی زیاد تولید بود که این موارد از طریق رسم نقشه جریان ارزش وضعیت موجود به دست آمد.

Schillig و همکارانش در سال ۲۰۱۵، توضیح می‌دهد که چگونه می‌توان *VSM* را به یک روش نقشه جریان ارزش انرژی *(Energy Value-Stream Mapping)* گسترش داد که اجازه می‌دهد انرژی ورودی فرآیند تولید را در ارزش افزوده و غیر ارزش افزوده تقسیم کرد.

Ofori-Okyere و همکارانش در سال ۲۰۱۶، به جنبه‌های تئوریک و تجربی معدنکاری ناب در معادن غنا پرداخته‌اند و اساس آن تجزیه‌وتحلیل مقالات و گزارش‌های موجود بوده است.

Andreadis و همکارانش در سال ۲۰۱۷، به بیان یک چارچوب مفهومی برای بیان ضرورت استفاده از نقشه جریان ارزش در سازمان‌ها پرداخته‌اند.

Makwana و *Awasthi* در سال ۲۰۱۷، به کاربرد نقشه جریان ارزش در یک صنعت تولید اجزاء الکترونیکی پرداخته‌اند که هدف آن تطبیق عرضه و تقاضای تولید داخلی است.

Suryoputro و همکارنش در سال ۲۰۱۷، به بررسی بخش فرآیندی کانال‌های همزن عمودی یک شرکت 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.

Behnam و همکارانش در سال ۲۰۱۸، به شناسایی و اولویت‌بندی موداها در خط تولید شرکت تولیدکننده الیاف طبیعی 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.

Garza-Reyes و همکارانش در سال ۲۰۱۸، به کاربرد نقشه جریان ارزش به عنوان ابزاری برای بهبود عملکرد پایداری زیست‌محیطی در فرآیند نورد پرداختند. این مقاله رویکردی را بر اساس چرخه دمینگ *(Plan-Do-Check-Act)*، برای پیاده‌سازی سامانمند و اجرای مطالعات *VSM*زیست‌محیطی *(Environmental VSM)* پیشنهاد می‌کند.

Dadashnejad و *Valmohammadi* در سال ۲۰۱۹، به بررسی تأثیر *VSM* بر معیار اثربخشی تجهیزات کلی *(Overall Equipment Effectiveness)* پرداختند. در ابتدا یک پرسشنامه طراحی شد. سپس همه‌ی عوامل مؤثر بر *VSM*و *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.

Zahraee و همکارانش در سال ۲۰۲۰، به پیاده‌سازی

روش *VSM* همراه با شبیه‌سازی کامپیوتری برای شناسایی و حذف ضایعات در صنعت تولید وسایل گرمایشی کوچک مقیاس با استفاده از اصول تولید ناب و فرمولاسیون زمانی از طریق محاسبه زمان تاکت (نرخ زمانی تولید واحد بر اساس تقاضا) پرداختند.

Jing و همکارانش در سال ۲۰۲۱، به یافتن یک روش جدید برای بهبود فرآیند مدیریت تدارکات در یک شرکت تولیدی با استفاده از روش نقشه جریان ارزش و از طریق بازرسی‌های میدانی پرداختند.

Gunaki و همکارانش در سال ۲۰۲۲، بیان کردند نقشه جریان ارزش یک ابزار مفید برای آشکارسازی ضایعات در واحدهای تولیدی و ساده‌سازی فرآیندهای تولید با شناسایی و حذف مراحلی است که ارزشی به فرآیند تولید محصولات نمی‌افزایند است.

در **جدول ۱**، نیز خلاصه و دسته‌بندی تحقیقات علمی در ارتباط با موضوع تحقیق آورده شده است.

جدول ۱- خلاصه و دسته‌بندی تحقیقات علمی در موضوع نقشه جریان ارزش

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), Womack and Jones (2003), Womack (2006), Abdulmalek and Rajgopal (2007), Lasa et al. (2008), Serrano et al. (2008), Chowdary and George (2012), Nash and Poling (2011), Myerson (2012), Rocha-Lona et al. (2013), Gupta et al. (2014), Kumar (2014), Saraswat et al. (2014), Tamás (2016), Andreadis et al. (2017), Shou et al. (2017), Behnam et al. (2018), Kumar et al. (2018), Singh et al. (2018), Dadashnejad & Valmohammadi (2019), Razali & Ab Rahman (2019)*
۲	مزایای *VSM*	*Rother and Shook (2003), Abdulmalek and Rajgopal (2007), Lasa et al. (2008), Serrano et al. (2008), Lasa et al. (2009), Pepper and Spedding (2010), Singh et al. (2011), Saraswat et al. (2014), Andreadis et al. (2017), Shou et al. (2017), Garza-Reyes et al. (2018), Kumar et al. (2018)*
۳	محدودیت‌ها و چالش‌ها در اندازه‌گیری *VSM*	*Lasa et al. (2008), Braglia et al. (2009), Pepper and Spedding (2010), Nash and Poling (2011), Seyedhosseini et al. (2013), Belekoukias et al. (2014), Dal Forno et al. (2014), Dinis-Carvalho et al. (2015), Seifullina et al. (2018)*
۴	کاربرد *VSM* (مطالعات موردی)	*Abdulmalek and Rajgopal (2007), Barber and Tietje (2008), Grewal (2008), Serrano et al. (2008), Seth et al. (2008), Singh and Sharma (2009), Chen et al. (2010), Bo and Dong (2012), Joshi & Naik (2012), Rosienkiewicz (2012), Teichgräber and de Bucourt (2012), Jasti and Sharma (2014), Kumar (2014), Manjunath et al. (2014), Parthanadee and Buddhakulsomsiri (2014), Saboo et al. (2014), Saraswat et al. (2014), Venkataraman et al. (2014), Tyagi et al. (2015), Henrique et al. (2016), Andreadis et al. (2017), Makwana & Awasthi (2017), Romero & Arce (2017), Shou et al. (2017), Stadnicka & Litwin (2017), Suryoputro et al. (2017), Behnam et al. (2018), Garza-Reyes et al. (2018), Kumar et al. (2018), Dadashnejad & Valmohammadi (2019), Knoll et al. (2019), Wicaksono & Setiawan (2019), Kant & Shrutika, (2020), Martin et al. (2020), Zahraee et al. (2020), Jing et al. (2021), Gunaki et al. (2022)*
۵	برنامه اجرایی *VSM*	*Rother and Shook (2003), Rivera and Chen (2007), Lasa et al. (2008), Serrano et al. (2008), Nash and Poling (2011), Bo and Dong (2012), Venkataraman et al. (2014), Henrique et al. (2016), Shou et al. (2017), Knoll et al. (2019)*

۳- مفهوم تولید ناب، نقشه‌برداری جریان ارزش و اتلاف

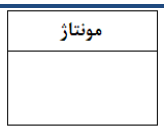
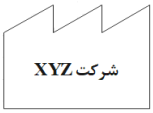
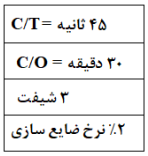
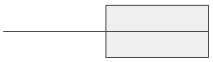
تولید ناب در واقع نگرشی است که درصدد از بین بردن فرآیندهای اضافی یا هدر رفت‌ها؛ یعنی فرآیندهایی که ارزش افزوده‌ای ایجاد نمی‌کند، در کل فرآیند تولید، از مرحله‌ی تهیه مواد اولیه تا تولید و نهایتاً فروش است *(Tamás, 2016)*. به بیان ساده‌تر تولید ناب یک فلسفه تولیدی است که زمان سفارش تا تحویل کالا را با 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.

به منظور تحقق اهداف رویکرد تولید ناب از ابزارهای گوناگونی نظیر نقشه جریان ارزش استفاده می‌شود. نقشه‌برداری جریان ارزش، یک ابزار قلم و کاغذی است که شما را قادر می‌سازد در حالی که محصول، مسیر خود را در طول جریان ارزش طی می‌کند، حرکت مواد و اطلاعات را ببینید و درک کنید. در واقع آنچه بدان نقشه‌برداری جریان ارزش گفته می‌شود کار ساده‌ای است به این صورت که مسیر محصول را از مشتری تا تأمین‌کننده تعقیب کنید و به دقت از هر فرآیندی که در مسیر حرکت مواد و اطلاعات قرار دارد، تصویری روشن ترسیم کنید. سپس مجموعه‌ای از پرسش‌های کلیدی را طرح کرده و بر اساس آن‌ها برای وضع آینده، نقشه‌ای را ترسیم کنید که نشان دهد ارزش باید چگونه حرکت کند *(Serrano et al., 2008; Singh et al., 2011; Gupta et al., 2014)*.

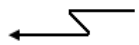
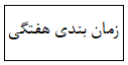
در نقشه جریان ارزش، مجموعه‌ای از نمادهای منحصربه‌فرد برای تجسم یک فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از متداول‌ترین این نمادها و توضیح کاملی از آن‌ها در **جدول ۲**، آورده شده است.

به هر فعالیتی که منابعی نظیر زمان و یا هزینه را جذب می‌کند ولی هیچ ارزش‌افزوده‌ای ایجاد نمی‌کند، اتلاف اطلاق می‌شود. انواع اتلاف و حذف آن، یکی از اصول پایه‌ای سیستم‌های تولید ناب است. به طور کلی ۸ نوع اصلی اتلاف مشخص شده است. شناسایی این تلفات ضروری است و با اطلاعات و دانش موجود می‌توان به راحتی آن‌ها را شناسایی و برای حذف آن‌ها اقدام کرد. در **جدول ۳**، این تلفات به همراه خلاصه‌ای از مفهوم و خصوصیت آن‌ها ذکر شده است.

جدول ۲- برخی از مهم‌ترین علائم استاندارد مورد استفاده در نقشه جریان ارزش به همراه توضیحات مربوط به آن‌ها

نمادهای حرکت مواد	نشان‌دهنده	توضیحات
	فرآیند/ پردازش/ عملیات	نشان‌دهنده محدوده‌ای است که در آن محصول/ خدمت، در حرکت است (توقف ندارد). باید روی جعبه، نام هر فرآیند نوشته شود.
	منابع بیرونی	برای نشان دادن مشتریان، تأمین‌کنندگان و تمام ذینفعان تولیدی، خدماتی و قانونی بیرونی استفاده می‌شود.
	جدول داده‌ها	برای ثبت اطلاعات مربوط به هر فرآیند، سایر واحدها یا مشتری استفاده می‌شود.
	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.
	جدول زمانی کل	این نماد در انتهای نوار داده زمان انتظار تولید قرار می‌گیرد. سلول بالایی این نماد نشان-دهنده زمان انتظار تولید (مجموع زمان‌های انتظار و چرخه‌های زمانی تولید) 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

ادامه جدول ۲- برخی از مهم‌ترین علائم استاندارد مورد استفاده در نقشه جریان ارزش به همراه توضیحات مربوط به آن‌ها

نمادهای حرکت مواد	نشان‌دهنده	توضیحات
	حرکت الکترونیک اطلاعات	برای نمونه از طریق کامپیوتر.
	اطلاعات	برای نشان دادن اطلاعات مورد نیاز در هر جایی که مورد نیاز است.
	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.

جدول ۳- انواع تلفات به همراه مفهوم و خصوصیت آن‌ها

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 شود تا حد ممکن این مراحل را کاهش دهید.		
۲	موجودی	در اختیار داشتن مقادیر زیاد و ناضروری از مواد خام.	هزینه‌های اقتصادی بالاتر. هزینه انبارداری بیشتر. مقادیر بیشتر عیوبات.
	* 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.		

ادامه جدول ۳- انواع تلفات به همراه مفهوم و خصوصیت آن‌ها

ردیف	نام اتلاف	مفهوم	خصوصیت
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.
	* از تولید بیش حد باید جلوگیری کرد. حتی اگر محصول فاسدشدنی نباشد، ذخیره و نظارت بر آن تا زمانی که مشتری آن را خریداری کند، یک اتلاف 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 نباشد، 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.

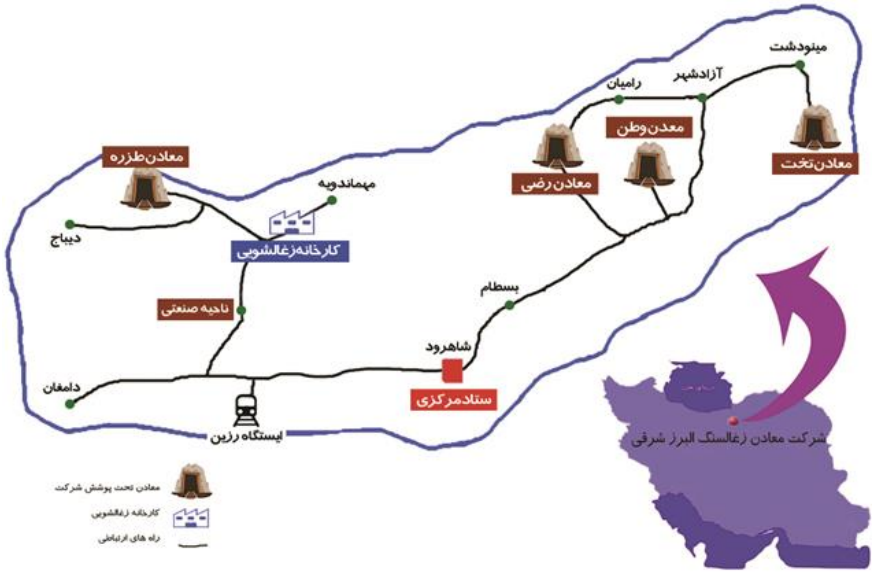
۴- مطالعه موردی

شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی در سال ۱۳۴۹، فعالیت اکتشافی و بهره‌برداری خود را آغاز کرد. 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 زغالشوئی در منطقه طزره ارسال می‌گردد (**شکل ۱**).

عمده فعالیت‌های استخراج زغال‌سنگ از معادن تا رسیدن به کارخانه زغالشوئی شامل بخش‌های پیشروی، آماده‌سازی، استخراج، حمل تونلی و حمل جاده‌ای است. در این تحقیق با توجه به اهمیت موضوع و زمان‌بر بودن بخش پیشروی معادن، این بخش مورد بررسی قرار گرفته است و زمان‌های فرآیندی و زمان‌های بین فرآیندی با بررسی‌های میدانی اندازه‌گیری شده است.

۵- روش تحقیق

پژوهش حاضر که یک تحقیق توصیفی و کاربردی است به بررسی وضعیت حالت فعلی و آینده بخش پیشروی تونل‌ها 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 پیشروی 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.



شکل ۱- حوزه عملیاتی شرکت معادن زغال‌سنگ البرز شرقی

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 ۲۰ ساله پژوهشگر اصلی و همکاران معدنی، 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 شرکت، 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 ۵ بخش اصلی جهت رسیدن به تولید زغال‌سنگ خام شامل:

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

با توجه به اینکه در این مقاله تنها بخش پیشروی تونل‌ها مدنظر است؛ لذا بررسی‌های انجام شده در این مقاله فقط در بخش پیشروی صورت گرفته است. بخش پیشروی خود دارای فرآیندهای مختلفی است که این فرآیندها عبارت‌اند از:

- چالزنی

- انفجار
- تهویه
- لق‌گیری
- خاکبرداری
- نصب استحکامات (نصب آرک و ریل)
- لارده‌کاری

به منظور ایجاد یک زبان مشترک در ترسیم نقشه جریان ارزش از نمادها و نشانه‌های اشاره شده در **جدول ۲**، استفاده شده است. نقشه جریان ارزش وضعیت فعلی و وضعیت آتی (پس از اجرای کایزن‌های ارائه شده در بخش ۶) در **شکل ۳** و نوار داده زمان‌های مختلف در نقشه جریان ارزش وضعیت فعلی در **شکل ۲**، 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 چالزنی و خاکبرداری به ترتیب با زمان ۱۲۵ و ۱۱۵ دقیقه بیشترین چرخه زمانی فرآیندها را به خود اختصاص می‌دهند که بیش از ۵۰ درصد از چرخه زمانی کل و ۲۸ درصد از زمان کل بخش پیشروی را اشغال کرده‌اند. زمان انتظار بین فرآیندهای چالزنی و انفجار با مدت زمان ۳۹۰ دقیقه تنهاترین و بالاترین زمان انتظار بین فرآیندی است که بیش از ۴۵ درصد از زمان کل بخش پیشروی را به خود اختصاص داده است.

پس از شناسایی فرآیندهای مختلف در بخش پیشروی 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 ۴**، مراحل و روند نمای اجرای جلسات بارش مغزی درج شده است.

لازم به ذکر است به منظور کارشناسی، از ۱۷خبره 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 رفت-ها شناسایی و انواع هدر رفت‌ها در قالب ۱۶ ردیف در **جدول ۵**، درج شده است و با اجماع نظرات کارشناسی نوع اتلاف ۸ گانه هر هدر رفت در **جدول ۵**، تعیین شد.

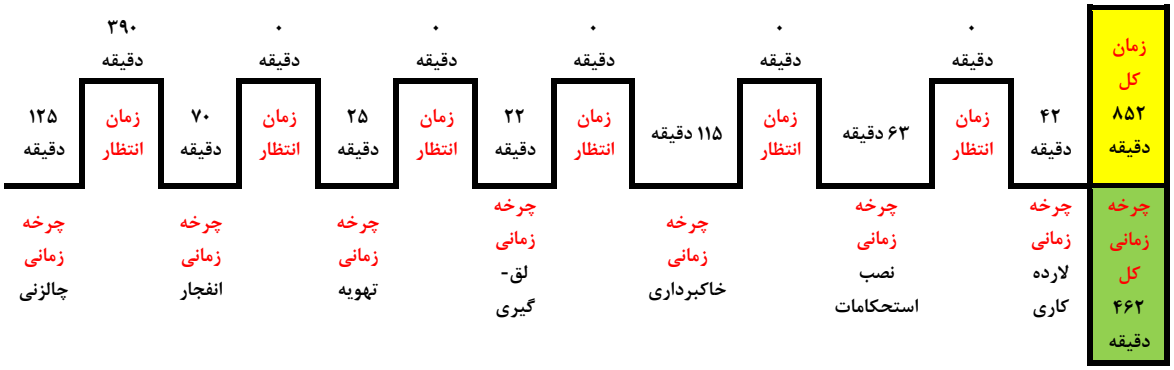
در **جدول ۶** و **شکل ۵**، انواع هدر رفت زمانی در فرآیندهای مختلف در بخش پیشروی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ البرز شرقی به همراه نوع اتلاف آورده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود بیشترین اتلاف مربوط به اتلاف انتظار با ۶۰ تکرار و پس از آن به ترتیب فرآیندهای اضافی، عدم دسترسی به دانش و اصلاح و تعمیرات با ۱۹، ۸ و ۶ تکرار، بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند.

۶- کایزن‌های پیشنهادی برای کاهش هدر رفت‌های زمانی

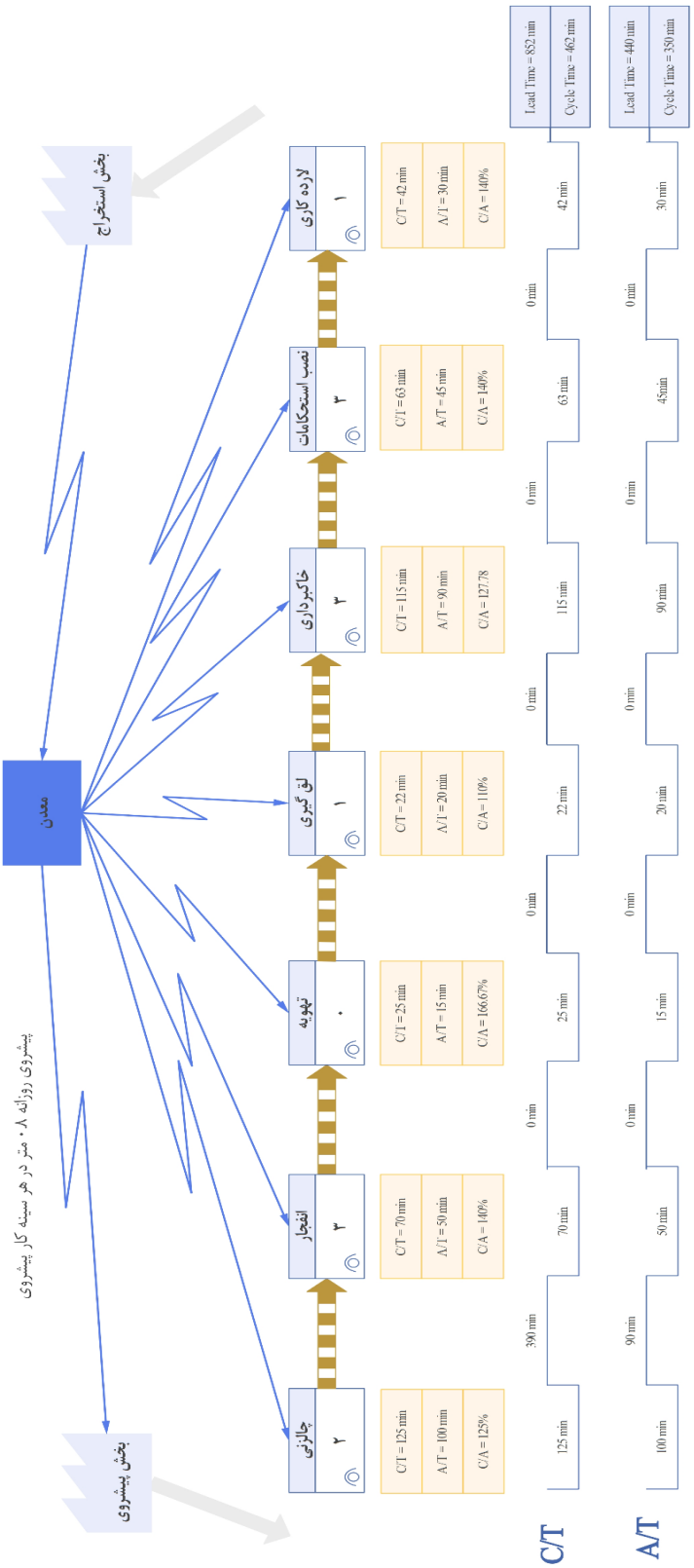
بررسی نقشه وضع موجود شرکت در بخش پیشروی معادن نشان‌دهنده آن است که این شرکت از نظر تعداد نیروی انسانی در این بخش در حالت بهینه قرار دارد، اما این شرکت دارای حجم بالای تلفات زمانی است. هدف از ترسیم نقشه جریان ارزش وضع آتی حذف اتلاف‌هایی است که باعث طولانی شدن فرآیندهای بخش پیشروی می‌گردد؛ لذا برای حذف یا کاهش این تلفات در این بخش به ارائه چندین پیشنهاد اصلاحی یا کایزن جهت کاهش زمان بین فرآیندی و کاهش زمان انجام فرآیند پرداخته شده است. همچنین زمان‌های حاصله پس از پیاده‌سازی این کایزن‌ها تحت عنوان *A/T* در **شکل ۳** و **جدول ۷**، 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 استادکار باتجربه در اجرای عملیات سینه کارهای پیشروی
- تأمین به موقع و کافی ابزارآلات، ریل، آرک، کورپی، لارده و غیره
- حفر مناسب تونل با رعایت دستورالعمل‌های پیشروی
- طراحی و اجرای مناسب الگوی آتشباری
- تأمین و خرید به موقع مواد منفجره و هماهنگی با واحدهای ذی‌صلاح
- استفاده از لودر تونلی خاک‌برسر به جای بیل دستی در بارگیری واگن‌ها
- تعیین تعداد نیروی مورد نیاز در هر فرآیند توسط کارفرما و تأمین آن توسط پیمانکار
- خارج کردن زغال سینه کار قبل از انجام فرآیند انفجار

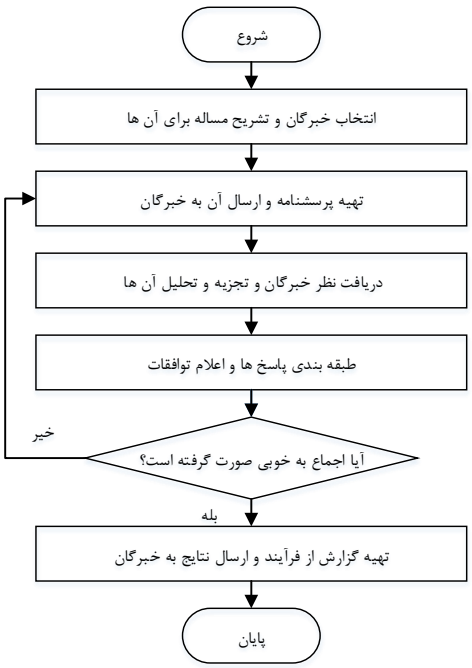
پس از اجرای کایزن‌های اصلاحی زمان انجام فرآیند چال‌زنی از ۱۲۵ دقیقه به ۱۰۰ دقیقه، زمان انجام فرآیند انفجار از ۷۰ دقیقه به ۵۰ دقیقه، زمان انجام فرآیند تهویه از ۲۵ دقیقه به ۱۵ دقیقه، زمان انجام فرآیند لق‌گیری از ۲۲ دقیقه به ۲۰ دقیقه، زمان انجام فرآیند خاکبرداری از ۱۱۵ دقیقه به ۹۰ دقیقه، زمان انجام فرآیند نصب استحکامات از ۶۳ دقیقه به ۴۵ دقیقه، زمان انجام فرآیند لارده‌کاری از ۴۲ دقیقه به ۳۰ دقیقه و مدت زمان بین فرآیندی فرآیندهای چال‌زنی و انفجار از ۳۹۰ دقیقه به ۹۰ دقیقه کاهش یافت که این امر باعث شد کل مدت زمان انجام بخش پیشروی از ۸۵۲ دقیقه به ۴۴۰ دقیقه کاهش یابد و مدت زمان کل فرآیندها از ۲ شیفت به ۱ شیفت کاهش یافت.



شکل ۲- نوار داده زمان‌های مختلف در نقشه جریان ارزش وضعیت فعلی سیستم پیشروی معادن زغال‌سنگ البرز شرقی



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



شکل ۴- مراحل اجرای جلسات بارش مغزی و ذهن انگیزی

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

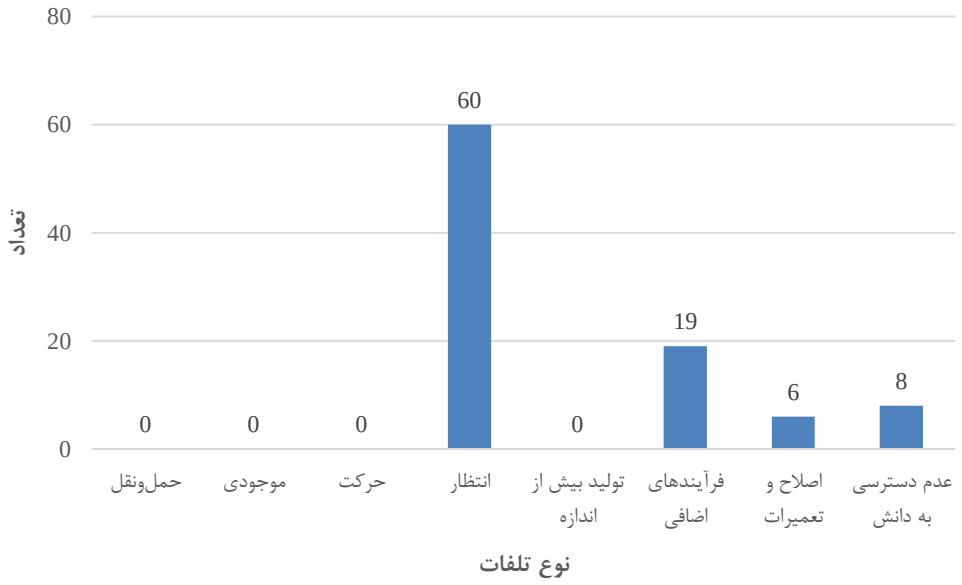
ردیف	سمت	سابقه کار (سال)	تحصیلات	سن (سال)
۱	مدیرعامل	۲۰	کارشناسی ارشد	۴۹
۲	مدیر دفتر فنی و طراحی	۲۲	دکتری	۴۷
۳	کارشناس ارشد استخراج	۱۶	کارشناسی ارشد	۴۲
۴	رئیس برنامه‌ریزی استراتژیک و تعالی سازمانی	۳	دکتری	۳۵
۵	مدیر *HSE* شرکت	۲۱	کارشناسی	۵۲
۶	رئیس بهداشت حرفه‌ای شرکت	۱۴	کارشناسی	۴۳
۷	رئیس نظارت شرکت	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 پیشروی به همراه نوع اتلاف

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 (مته، چکش، لودر، شیلنگ و ...)						*		
۲	فشار پایین و نبود هوای فشرده (عدم نصب آبگیر و ...)				*				
۳	نقص در سیستم آتشباری (طراحی نامناسب، مواد ناریه نامرغوب و ...)						*		
۴	انحراف از مسیر در تونل‌های با هدف مشخص						*		
۵	نیروی کار کم‌تجربه (بیماری‌های شغلی و غیر شغلی، حوادث، استرس‌های روانی ناشی از حوادث، حقوق و ...)								*
۶	بی‌نظمی در تدارکات رسانی				*				
۷	باقی ماندن زغال سینه کار						*		
۸	عدم رعایت دستورالعمل‌های پیشروی (شیب، مسیر آب، ارتفاع تونل، نصب ناقص استحکامات، لق گیری، چال زنی خشک، حضور نفرات مورد نیاز و ...)							*	
۹	شرایط زمین‌شناسی (گسل، آب‌های زیرزمینی و ...)				*				
۱۰	عدم تهویه مناسب				*				
۱۱	محدودیت‌های امنیتی				*				
۱۲	عوامل جوی (رعدوبرق و ...)				*				
۱۳	وقوع حوادث				*				
۱۴	عوامل زیان‌آور محیط کار				*				
۱۵	قطعی برق				*				
۱۶	عدم اجرای نت یا اجرای نامنظم نت				*				

جدول ۶- انواع هدر رفت زمانی در فرآیندهای مختلف در بخش پیشروی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ البرز شرقی به همراه نوع اتلاف

		انواع اتلاف							
		حمل‌ونقل	موجودی	حرکت	انتظار	تولید بیش از اندازه	فرآیندهای اضافی	اصلاح و تعمیرات	عدم دسترسی به دانش
فرآیندهای مختلف در بخش پیشروی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ البرز شرقی	چالزنی	۰	۰	۰	۸	۰	۲	۱	۱
	انفجار	۰	۰	۰	۹	۰	۲	۱	۱
	تهویه	۰	۰	۰	۶	۰	۱	۰	۱
	لق گیری	۰	۰	۰	۶	۰	۲	۱	۱
	خاکبرداری	۰	۰	۰	۸	۰	۴	۱	۱
	نصب استحکامات	۰	۰	۰	۸	۰	۴	۱	۱
	لارده کاری	۰	۰	۰	۷	۰	۳	۱	۱
	انتظار بین فرآیند	۰	۰	۰	۸	۰	۱	۰	۱
	کل فرآیندها	۰	۰	۰	۶۰	۰	۱۹	۶	۸



شکل ۵- نمودار انواع هدر رفت زمانی در کل فرآیندهای پیشروی در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ البرز شرقی

جدول ۷- بخش‌های مختلف نوار داده چرخه زمانی و زمان انتظار تولید در نقشه جریان ارزش (وضع فعلی و آتی) بخش پیشروی معادن زغال‌سنگ البرز شرقی

	فرآیند ۱	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۲	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۳	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۴	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۵	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۶	زمان بین فرآیندی	فرآیند ۷	Total Wait Time زمان کل انتظار	Total Cycle Time زمان کل فرآیندی	Lead Time زمان کل
	چال زنی		انفجار		تهویه		لق گیری		خاکبرداری		نصب استحکامات		لاده کاری			
نفرات	۲		۳		۰		۱		۳		۳		۱			
Cycle Time (C/T)	2:05:00	6:30:00	1:10:00	0:00:00	0:25:00	0:00:00	0:22:00	0:00:00	1:55:00	0:00:00	1:03:00	0:00:00	0:42:00	14:12:00	7:42:00	6:30:00
Actual Time (A/T)	1:40:00	1:30:00	0:50:00	0:00:00	0:15:00	0:00:00	0:20:00	0:00:00	1:30:00	0:00:00	0:45:00	0:00:00	0:30:00	7:20:00	5:50:00	1:30:00
C/A (%)	125.00	433.33	140.00	***	166.67	***	110.00	***	127.78	***	140.00	***	140.00			

۷- بحث و نتیجه‌گیری

جمع‌آوری و یکپارچه‌سازی کلیه مفاهیم، نگرش‌ها و ابزارها در یک شرکت تولیدی و استفاده از مزایای آن، نیاز به یک نگرش سامانمند را، ضروری می‌سازد. تولید ناب، ابزاری است که توانایی ادغام این مؤلفه‌ها را به طور صحیح و جامع دارد. به بیان دیگر، تولید ناب، مجموعه‌ای از ابزارهاست که با اتخاذ آن، یک شرکت می‌تواند جریان ارزش فرآیندها را یافته، تلفات زمان را کاهش و یا از بین ببرد و درنهایت کیفیت محصول را ارتقاء بخشد.

هدف اصلی این پژوهش نشان دادن کاربرد نقشه‌ی جریان ارزش در حرکت به سمت ناب‌سازی بخش پیشروی تونل‌های معادن زغال‌سنگ البرز شرقی و به نوعی طراحی کردن سیستم تولیدی ناب با تأکید بر روش‌های نقشه‌برداری جریان ارزش است. همان‌گونه که مشخص است لازمه‌ی به وجود آمدن یک سیستم تولیدی ناب، داشتن جریان ارزشی است که تقاضای مشتریان را در کیفیت خواسته شده و با در نظر گرفتن کوتاه‌ترین زمان انتظار و کمترین هزینه و در کل از بین بردن یا کاهش فعالیت‌های ارزش نیافرین از دیدگاه مشتری، برآورده سازد.

در این تحقیق پس از شناسایی فرآیندهای مختلف در بخش پیشروی 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 یافت. در بحث گروهی با حضور کارشناسان منابع هدر رفت‌ها شناسایی گردید و انواع هدر رفت‌ها در قالب ۱۶ مورد تعیین و نوع اتلاف ۸ گانه هر هدر رفت نیز تعیین شد که بیشترین اتلاف مربوط به اتلاف انتظار با ۶۰ تکرار و پس از آن به ترتیب فرآیندهای اضافی، عدم دسترسی به دانش و اصلاح و

تعمیرات با ۱۹، ۸ و ۶ تکرار، بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند.

بررسی نقشه وضع موجود شرکت در بخش پیشروی معادن نشان‌دهنده آن است که این شرکت دارای حجم بالای تلفات زمانی است. هدف از ترسیم نقشه جریـان ارزش وضـع آتـی، حذف اتلاف‌هایی است که باعث طولانی شدن فرآیندهای بخش پیشروی 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 ۴۶۲ دقیقه به ۳۵۰ دقیقه، مدت زمان بین فرآیندی فرآیندهای چال‌زنی و انفجار از ۳۹۰ دقیقه به ۹۰ دقیقه و درمجموع کل مدت زمان انجام بخش پیشروی از ۸۵۲ دقیقه به ۴۴۰ دقیقه 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 پیشروی، پتانسیل بسیار زیادی در جهت به کارگیری تفکر ناب دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که بسیاری از تلفات دارای علل و ریشه مشترک بوده که با تعیین راهکارهای مناسب و سازنده و اجرای آن‌ها می‌توان این تلفات را رفع و یا کاهش داد.

۸- مراجع

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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.

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.

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.

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.

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

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.

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.

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

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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.

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.

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.

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

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

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.

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.

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.

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

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.

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.

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

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

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.

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

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

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

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.

Tunneling & Underground Space Engineering

(TUSE)

tuse.shahroodut.ac.ir

Volume 14-Issue 2\Winter 2026

نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی

The use of value stream mapping to improve the advancing tunnel section in underground coal mines (a case study: Eastern Alborz Coal Mines Company)

K. Ghanbari Teylami[1*]; M. Ataei[2]; F. Sereski[3]; A. Nouri Qarahasanlou[4]; A. Barabadi[5]

1- Ph.D. Candidate; Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Keramat_ghanbari@yahoo.com

2- Professor; Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, ataei@shahroodut.ac.ir

3- Professor; Faculty of Mining Eng., Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, farhang@shahroodut.ac.ir

4- Assistant Professor; Department of Engineering and Safety, University of Tromsø, Norway, ali_nouri@eng.ikiu.ac.ir

5- Professor; Department of Engineering and Safety, University of Tromsø, Norway, abbas.b.abadi@uit.no

Received: 9 Apr 2025; Accepted: 1 Oct 2025
DOI: 10.22044/tuse.2025.16048.1500

Keywords

Lean production
Value stream mapping
Wastes
Mining advancing section
Tunnel
Underground coal mines

Extended Abstract

Summary

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 advancing section of a mineral processing facility using the method of value stream mapping (VSM). 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 advancing 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 advancing section was 852 minutes, with 390 minutes attributed to waiting waste, comprising over 45% of the total cycle time. 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.

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. 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.

In this field, the literature consists of many studies, carried out in recent years aiming to decrease the cost and shorten production cycle time. Thus, one of the main objectives of research in the mining field is to minimize 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 to use the method of value stream mapping (VSM) to identify inefficiencies and apply lean principles for enhancing advancing section 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 advancing 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 advancing section in underground coal mines as a case study, and to show that VSM can be used to identify and eliminate the most significant waste within advancing section process, leading to improved efficiency and customer satisfaction.

Methodology and Approaches

The current study, characterized by its descriptive and applied nature, scrutinizes the current and anticipated states of the advancing 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 advancing 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.
- Assessing the current state of the company 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 necessary 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.

Results and Conclusions

The main aim of this study is to demonstrate the application of VSM in moving towards lean manufacturing in the advancing 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 VSM.
Initially, the sources of waste were identified and types of waste were determined in the form of 16 items, and also, 8 types of waste for each waste were determined. The predominant waste, "waiting", recurs 60 times, followed by "over-processing," "knowledge disconnection," and "defects" with 19, 8, and 6 instances, 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.
Post-implementation of Kaizen bursts, a noteworthy reduction in total cycle time from 462 to 350 minutes is observed, alongside a decrease in the time between drilling and blasting processes from 390 to 90 minutes. Consequently, the total lead time is diminished from 852 to 440 minutes, and the total process time was reduced from 2 shifts to 1 shift.