مدیریت صنعتی
Journal of Industrial Management
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۲
تابستان ۱۳۹۵
صص. ۳۰۸- ۲۸۷

ارائهٔ مدل پویایی ارزیابی بهره‌وری نیروی کار معادن (مطالعهٔ موردی: مجتمع معدنی و صنعتی چادرملو)

زیرار محمودی[۱]، احمدرضا صیادی[۲]، علی رجب‌زاده قطری[۳]

چکیده: صنعت معدن با وجود پیشرفت شایان توجه فناوری‌های مرتبط با آن، بر نیروی انسانی متکی است و نیروی کار یکی از نهاده‌های مهم تولید را تشکیل می‌دهد. در این مقاله، رویکردی مبتنی بر پویایی سیستم به‌منظور ارزیابی بهره‌وری نیروی کار در معادن ارائه شده است. بدین‌منظور ضمن شناسایی متغیرهای مؤثر بر بهره‌وری، دو مدل کیفی و کمّی طراحی و پیاده‌سازی شد. مدل کیفی توصیف‌کنندهٔ روابط علّی و چگونگی بازخورد سیستمی بین متغیرها در قالب ۱۴ حلقهٔ علت ـ معلولی است. مدل کمّی بر روابط ریاضی بین متغیرها و بازخوردهای مرتبط با آن مبتنی است. برای آزمایش کارکرد مدل، از داده‌های شرکت معدنی و صنعتی چادرملو استفاده شد و چگونگی تأثیر دو متغیر اصلی مهارت و انگیزه بر بهره‌وری نیروی کار بررسی گردید. براساس شبیه‌سازی‌های انجام‌شده کاهش ۵۰ درصدی در مهارت و انگیزه به‌ترتیب افت ۱۰ و ۱۳ درصد بهره‌وری را به‌دنبال خواهد داشت. با استفاده از مدل ارائه‌شده، مدیران شرکت قادر خواهند بود که عوامل مؤثر و میزان تأثیر آنها را بر بهره‌وری نیروی کار ارزیابی کنند و برای بهبود تصمیم‌های لازم را اتخاذ نمایند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری نیروی کار، سیستم پویا، معادن.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن ـ فنی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی معدن ـ اقتصاد معدن، دانشکدهٔ فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۰۹/۰۱
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲
نویسندهٔ مسئول مقاله: احمدرضا صیادی
E-mail: sayadi@modares.ac.ir

مقدمه

ارتقای بهره‌وری نیروی کار یکی از عوامل مهم در رشد بخش معادن است (گارسیا، نایت و تایلن، ۲۰۰۱). هرگونه تصمیم مدیریتی مؤثر بر نیروی کار تأثیر بسزایی در سودآوری و رقابت‌پذیری معادن دارد؛ زیرا هزینهٔ نیروی کار سهم فراوانی از قیمت تمام‌شدهٔ محصول را به‌خود اختصاص می‌دهد. به‌طور مثال، در آفریقای جنوبی، هزینهٔ نیروی کار در معادن مکانیزهٔ روباز ۲۰– ۳۵ درصد و در معادن زیرزمینی عمیق ۵۰–۶۰ درصد هزینهٔ تولید را تشکیل می‌دهد (مؤسسهٔ ای. وای، ۲۰۱۳). در ایران آمار قابل استنادی منتشر نشده است، ولی حدود ۲۰ درصد هزینهٔ استخراج در معادن را شامل می‌شود.

افزایش بهره‌وری نیروی کار به‌معنای آن است که کار مشابه می‌تواند با تعداد کارکنان کمتری انجام شود و هزینهٔ تولید کاهش یابد. رابطهٔ مهمی بین بهره‌وری نیروی کار و بهره‌وری سایر نهاده‌ها (سرمایه، انرژی و مواد اولیه) وجود دارد و رشد در بهره‌وری نیروی کار رشد در بهره‌وری سایر عوامل را نیز به همراه دارد (بارتلسمن، هالتی وگنر و سکارپتا، ۲۰۱۳).

به‌طور کلی، اقتصاددانان بهره‌وری را با نسبت بین حجم یا ارزش تولید انجام‌شده با امکانات و منابع استفاده‌شده توصیف می‌کنند. مدیران پروژه، بهره‌وری را با نسبت بین ساعات کاری به‌دست‌آمده و ساعات کاری مصرف‌شده معنا می‌کنند (هانا، تایلور و سولیوان، ۲۰۰۵). در تحقیق حاضر بهره‌وری نیروی کار مد نظر بوده و به‌صورت نسبت تولید انجام‌شده به‌ازای هر نفر در سال در نظر گرفته شده است.

نخستین اقدام در مدیریت بهره‌وری نیروی کار، ارزیابی آن است. این امر در گروی شناخت عوامل مؤثر مرتبط است؛ زیرا درک صحیح از این عوامل می‌تواند توانایی مدیران را در تخصیص بهتر منابع محدود، به‌کارگیری کارکنان با مهارت و انگیزهٔ بیشتر افزایش دهد (دای، گودران و مالنی ، ۲۰۰۹). عوامل مؤثر، مستقل از هم نیستند و ضمن تأثیرپذیری از یکدیگر، بهره‌وری را تعیین می‌کنند. بنابراین، شناخت روابط متقابل آنها ضروری است. هم‌زمان با افزایش اهمیت بهره‌وری، روش‌های اندازه‌گیری آن نیز تغییرات زیادی کرد و الگوهای متعددی برای محاسبهٔ آن ارائه شد. در اینجا به برخی از مطالعات انجام‌شده در حوزهٔ بهره‌وری نیروی انسانی در دو دههٔ اخیر اشاره می‌شود.

پیشینهٔ پژوهش

به‌گفتهٔ آیدین و تیلتون (۲۰۰۰) بهبود سه‌برابری بهره‌وری نیروی کار در معادن مس ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۷۵– ۱۹۹۵ موجب بهبود مزیت نسبی تولید در این صنعت شده است.

تیلتون (۲۰۰۱) نشان داد در وضعیت رکود اقتصادی، وابستگی بقای معدن به بهره‌وری نیروی کار بسیار بیشتر از هزینه‌های متغیر است. گالدن و اسمیتز (۲۰۰۳) رابطهٔ رقابت و بهره‌وری نیروی کار در بازارهای جهانی سنگ آهن در دههٔ ۱۹۸۰ را بررسی کردند. معادنی که کمتر در رقابت شدید درگیر هستند، تغییر در بهره‌وری را کمتر تجربه کرده‌اند. جارا، پرز و ویلالبوس (۲۰۱۰) ضمن تحلیل بهره‌وری نیروی کار در صنعت معدن مس شیلی و پرو، نشان دادند برای بهره‌وری زیاد، نباید تنها به معادن با ذخایر فراوان اکتفا کرد. همچنین سطح تولید و عیار بالا بر بهره‌وری نیروی کار تأثیر مثبت و نسبت باطله‌برداری بر بهره‌وری نیروی کار تأثیر منفی دارد. سالساگنینی و تراواگلینی (۲۰۱۴) نشان دادند بهره‌وری نیروی انسانی و ساختار عملیاتی بیشترین تأثیر را بر بهره‌وری در معادن ذغال ترکیه داشته است.

بیشتر تحقیقات موجود برمبنای کاربرد یک یا چند رابطهٔ ساختاری از متغیرهای قابل شناخت و بر پایهٔ الگوهای اقتصادسنجی هستند. در هیچ‌یک از این تحقیقات به بازخورد متغیرهای تأثیرگذار بر بهره‌وری نیروی کار در معادن و نیز پیچیدگی میان متغیرهای تأثیرگذار بر بهره‌وری توجه نشده است و بیشتر با ساده‌سازی مدل‌های ارائه‌شده به تحلیل بهره‌وری پرداخته شده است؛ اما باید توجه داشت که آثار بهره‌وری صرفاً به متغیرهای قابل شناخت کمی محدود نمی‌شود، بلکه برای درک درست و منطقی از آثار آن، باید با نگاه جامع و به‌کارگیری دیدگاه سیستمی به بررسی ابعاد مختلف این موضوع پرداخت. برای این‌منظور استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستمی می‌تواند در شناخت و تبیین روابط متغیرهای مؤثر در محاسبهٔ بهره‌وری بسیار مهم و اثرگذار باشد. این روش براساس روابط علت‌ـ معلولی، ارتباط بین متغیرها را در قالب الگویی پویا بسط می‌دهد و موضوع به‌صورت الگوی رفتاری طی زمان آشکار می‌شود. همچنین میزان انعطاف‌پذیری این روش مدل‌سازی، امکان کاربرد آن را برای مطالعات دیگر امکان‌پذیر می‌کند. مدل‌های ارائه‌شده به‌روش سیستم پویا برای تحلیل سناریوهای مختلف بسیار کاربردی‌تر از سایر روش‌هاست.

در خصوص کاربرد رویکرد سیستم داینامیک در ارزیابی بهره‌وری در معادن مطالعات معدودی صورت گرفته است. سلطان‌نژاد و همکارانش بهره‌وری در شرکت مس سرچشمه را با رویکرد سیستم پویا بررسی کردند (سلطان‌نژاد، شکوری و جهان‌شاهی، ۲۰۱۲). همچنین محمودی و همکارانش به ارزیابی بهره‌وری انرژی در معادن پرداختند (محمودی، صیادی و رجب‌زاده، ۱۳۹۴). در زمینهٔ بهره‌وری نیروی کار در معادن با رویکرد سیستم پویا نیز تحقیقات جدی‌ای صورت نگرفته است، ولی مطالعات متعددی در حوزهٔ پروژه‌های ساخت‌وساز انجام شده است. هیلو، هیلمولا و مانوکسیلا (۲۰۰۰) بهره‌وری تولید را با سیستم پویا مدل کردند و نشان دادند بهره‌وری

تولید به ساختار پروژه و منابع آن وابسته است. کاتسانیس (۲۰۰۳) با استفاده از تفکر سیستمی نشان داد شبیه‌سازی حالت‌های مختلف، امکان ارزیابی نتایج سیاست‌ها و شرایط پروژه‌های ساخت‌وساز را امکان‌پذیر می‌کند. مادسلی و الجیبوری (۲۰۰۹) با استفاده از رویکرد سیستم پویا، ۳۴ عامل مؤثر بر بهره‌وری صنعت ساخت‌وساز را شناسایی کردند و بیشترین تأثیر را به سرمایه‌گذاری در برنامه‌ریزی و کنترل دادند. امنیت سرمایه‌گذاری، انگیزه و پیوستگی نیز مهم ارزیابی شده‌اند. نصیرزاده و نوجدهی (۲۰۱۳) بهره‌وری نیروی کار در پروژه‌های ساختمان‌سازی با رویکرد سیستم پویا و تأثیر برخی از عوامل کاهش بهره‌وری را بررسی کردند. الهی و لطفی (۱۳۹۲) به شبیه‌سازی پویای صنعت تایر خودروی ایران با هدف بررسی وضعیت نیروی انسانی تا چشم‌انداز ۱۴۰۴ پرداختند. این مطالعات بیشتر در گسترهٔ پروژه‌های ساخت‌وساز و با رویکرد کنترل پروژه است و ضمن اینکه شناخت خوبی از عوامل مؤثر بر بهره‌وری نیروی انسانی به‌دست می‌دهد، نمی‌توان به شکل فعلی از آن در حوزهٔ تولید، صنعت و معدن استفاده کرد. بنابراین، با توجه به کاستی‌های موجود در حوزهٔ پویایی بهره‌وری نیروی انسانی در صنعت معدن، در این مقاله بهره‌وری نیروی کار در معادن با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی سنجش و ارزیابی شده است.

روش‌شناسی پژوهش

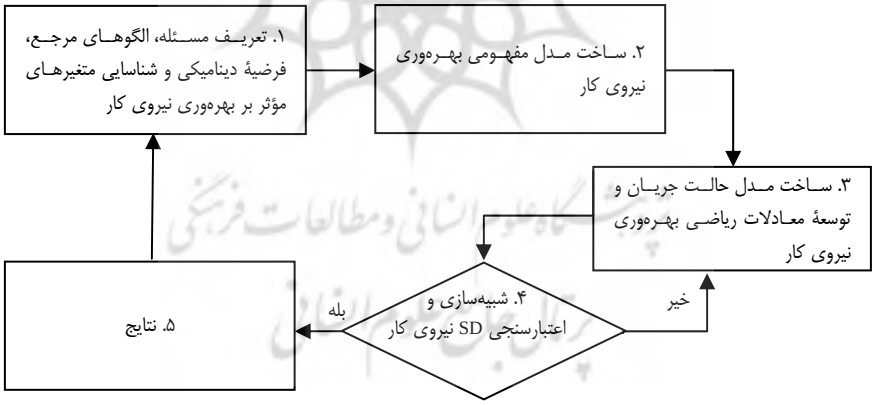
رویکرد پویایی‌های سیستمی

تفکر و شیوهٔ سیستم‌های پویا نوعی روش‌شناسی و مدل‌سازی رایانه‌ای برای تعیین چارچوب، فهم، درک و بحث دربارهٔ بعضی موضوعات و مسائل پیچیدهٔ مدیریتی، صنعتی، اجتماعی و حتی پزشکی است (استرمن، ۲۰۰۰). فارستر در سال ۱۹۵۰ میلادی روش سیستم پویا را به همین‌منظور ابداع کرد (فارستر، ۱۹۹۲). هنر اصلی این روش، کشف و نمایش فرایندهای بازخوردی است که همراه با ساختارهای حالت و جریان، تأخیرهای زمانی و ساختارهای غیرخطی، پویایی سیستم را نمایش می‌دهد (استرمن، ۲۰۰۰). پویایی‌های سیستمی به‌دنبال حلقه‌های بستهٔ بازخورد برای مطالعهٔ کارکرد سیستم است. حلقهٔ بازخوردی، زنجیرهٔ بسته‌ای از روابط علّی است که درنهایت روی متغیر اولیه اثر می‌گذارد. حلقه‌های بازخورد شامل حلقه‌های بازخورد مثبت (حلقهٔ تقویتی) و حلقه‌های بازخورد منفی (حلقهٔ تعادلی) است (حاج‌غلام، سریزدی و پورسراجیان، ۱۳۹۰). حلقه‌های بازخورد مثبت یا تقویتی خودفزاینده‌اند و به رشد نمایی یا تنزل شدید در طول زمان منجر می‌شوند و حلقه‌های بازخورد منفی یا تعادلی ساختار هدف‌جو و متعادل‌کننده‌ای در سیستم‌ها دارند و منشأ پایداری و ثبات‌اند (حاج‌غلام و همکاران، ۱۳۹۰). در حلقه‌های علت و معلولی تأخیرها اهمیت

زیادی دارند. معمولاً تأخیرها نشان‌دهندهٔ مرز بین تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت است که با دو خط موازی روی پیکان نشان داده می‌شود (سوشیل، ۱۹۹۳).

نمودارهای علت ـ معلولی در بیان روابط علّی موجود در سیستم بسیار توانا هستند، اما قدرت نشان‌دادن روابط ریاضی، جریان مواد، پول و اطلاعات و... را ندارند. برای جبران این کمبود از مدلی ریاضی در قالب نمودار حالت و جریان استفاده می‌شود که درواقع شکل توسعه‌یافتهٔ نمودار علت و معلولی است. پویایی یادشده اساس مدل ریاضی را تشکیل می‌دهد و بدون نمودار حالت جریان توسعهٔ معادلات ریاضی امکان‌پذیر نیست.

شکل ۱ روش مدل‌سازی بهره‌وری نیروی کار را براساس رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی در قالب پنج گام متوالی و به‌صورت چرخه‌ای نشان می‌دهد. در گام نخست متغیرهای مؤثر شناسایی می‌شوند و مبنای الگوی مرجع و فرضیهٔ پویا شکل می‌گیرد. در گام دوم، مدل کیفی بهره‌وری نیروی کار برمبنای تأثیر متقابل متغیرها به‌صورت حلقه‌های بازخوردی ساخته می‌شود. در گام سوم، روابط متقابل موجود بین متغیرها به‌صورت کمی در قالب مدل ریاضی تبیین می‌شود. اجرای این مراحل امکان شبیه‌سازی پویای بهره‌وری نیروی کار را در مرحلهٔ چهارم فراهم می‌کند و ضمن اعتبارسنجی مدل، میزان بهره‌وری و میزان اثر فاکتورهای مختلف بر آن نیز تعیین می‌شود. الگوی مرجع و فرضیهٔ پویا نیز در این مرحله بیان می‌گردد.

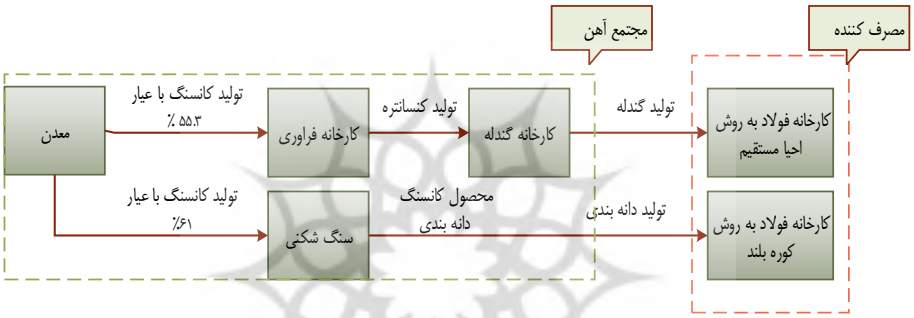


شکل ۱. رویکرد مدل‌سازی بهره‌وری نیروی کار

فرایند تولید در مجتمع‌های معدن سنگ آهن

یکی از ویژگی‌های صنعت معدن در مقایسه با سایر صنایع، وابستگی شدید به نیروی انسانی به‌رغم پیشرفت شایان توجه در فناوری تولید به‌خصوص مکانیزاسیون و اتوماسیون فرایندهاست.

از طرفی، انواع محصولات تولیدی در طول زنجیرهٔ ارزش تابع مشخصات کیفی نظیر عیار و دانه‌بندی و نوع مصرف پایین‌دستی است. فرایند تولید در یک مجتمع آهنی در شکل ۲ نشان داده شده است. در هر مرحله محصول تولیدشده یا به فروش می‌رسد یا به‌عنوان ورودی در مرحلهٔ بعدی استفاده می‌شود. کانسنگ استخراج‌شده از معدن اگر عیار بیشتر از ۶۱ درصد داشته باشد، به قسمت دانه‌بندی می‌رود و به‌عنوان محصول سنگ آهن دانه‌بندی[1] شده به فروش می‌رسد. در غیر این‌صورت وارد کارخانهٔ فرآوری‌شده و تبدیل به کنسانتره[2] می‌شود. بخشی از خروجی کارخانهٔ فرآوری به کارخانهٔ گندله‌سازی وارد می‌شود و باقی به فروش می‌رسد. آخرین مرحله شامل تولید محصول گندله[3] است که به کارخانه‌های فولاد ارسال می‌شود.



شکل ۲. فرایند تولید در مجتمع‌های تولید سنگ، کنسانتره و گندلهٔ آهن

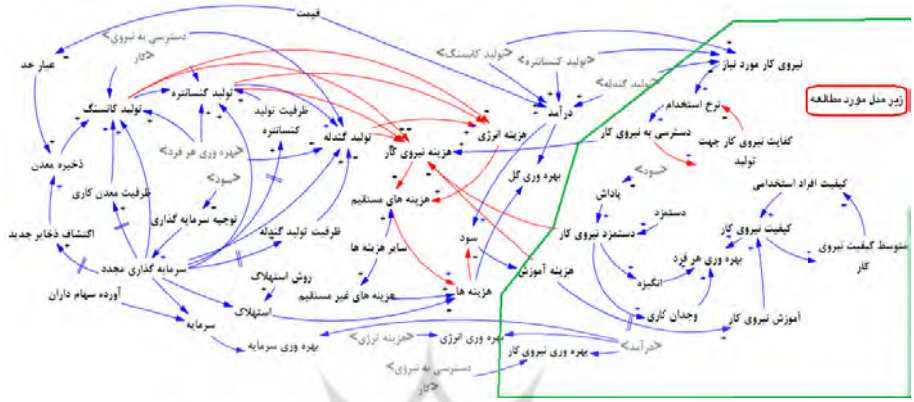
مدل‌سازی

قبل از توسعهٔ زیرمدل بهره‌وری نیروی کار، مدل مبنا شامل بازخورد کلیهٔ عوامل مؤثر بهره‌وری آورده شده است (شکل ۳). این مدل امکان ارزیابی انواع بهره‌وری (بهره‌وری کل، بهره‌وری سرمایه، بهره‌وری انرژی و بهره‌وری نیروی کار) و همچنین عوامل مؤثر بر آنها را فراهم می‌کند.

بهره‌وری کل بیان‌کنندهٔ نسبت بین ستانده (کل درآمدها) به داده (کل هزینه‌ها) است. همچنین، بهره‌وری سرمایه با نسبت بین ستانده (درآمد) و دادهٔ سرمایه تعریف شده است. بهره‌وری انرژی نیز نشان‌دهندهٔ نسبت بین ستانده (درآمد) و دادهٔ انرژی است. بهره‌وری نیروی

1. Lump & Fine (L&F)
2. Concentrate
3. Pellet

کار نسبت بین ستانده به تعداد نیروی کار است. در ادامه با توجه به شکل ۳ مراحل مدل‌سازی بهره‌وری نیروی کار در پنج مرحله توسعه داده شده است.



شکل ۳. مدل مبنای بهره‌وری در یک مجتمع سنگ آهن

گام اول؛ تعریف مسئله و شناسایی متغیرهای مؤثر بر بهره‌وری نیروی کار

مسئلهٔ تحقیق، ارائهٔ مدلی برای ارزیابی بهره‌وری نیرو کار در معادن روباز آهن است. عوامل متعددی در این خصوص مؤثرند که از آن جمله می‌توان به میزان پیشرفت تکنولوژی، مقدار دستمزد (اربا و آپلین، ۱۹۹۶)، میزان رضایتمندی (سوکیمن، پریبادی و سوماردی، ۲۰۱۱)، آموزش، انگیزه (کانسیل و هانیف، ۲۰۰۹) و مهارت (انصاری رنانی و سبزی علی آبادی، ۱۳۸۸) نیروی کار اشاره کرد. در این تحقیق، ضمن بررسی اجمالی بهره‌وری سرمایه، انرژی و بهره‌وری کل، به چگونگی تأثیر عوامل آموزش، انگیزه و مهارت بر بهره‌وری نیروی کار پرداخته شده است. قبل از مدل‌سازی بایستی الگوهای مرجع[1] و فرضیه پویا مطرح شود (احمدوند، خدادادی ابیازنی و محمدیانی، ۲۰۱۵). این الگو بر اساس داده‌های تولید محصول در بازهٔ زمانی مطالعه استخراج شده است. فرضیهٔ پویا نیز بر اساس تحلیل روند تغییرات رفتار مرجع تبیین می‌شود.

گام دوم؛ ساخت مدل مفهومی بهره‌وری نیروی کار

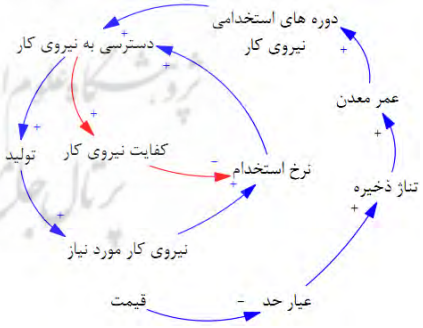
هدف از مدل علت و معلولی، نشان‌دادن روابط علّی بین متغیرها و شناسایی حلقه‌های اصلی و نمایش بازخورد موجود در سیستم است. این روابط اساس مدل‌سازی در سیستم‌های پویا را شکل

1. Reference Modes

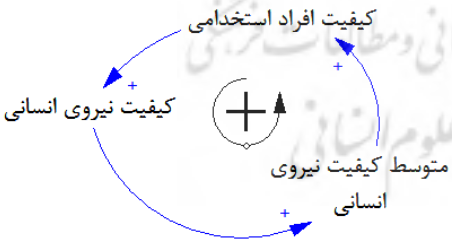
می‌دهد. از حلقه‌های اصلی این مدل می‌توان به چهار حلقهٔ تقویت‌کنندهٔ استخدام، کیفیت نیروی کار، آموزش و انگیزه و همچنین سه حلقهٔ تعادلی کفایت نیروی کار، هزینهٔ آموزش و دستمزد اشاره کرد. در ادامه به مدل‌سازی علت ـ معلولی نیروی کار پرداخته شده است.

حلقه‌های تقویت‌کنندهٔ استخدام (R۱)، تعادلی کفایت نیروی کار (B۱) و اثر خارجی قیمت

تقاضای نیروی کار تابعی از ظرفیت تولید است. با تغییر در ظرفیت تولید، نیاز به نیروی کار تغییر می‌کند. نیروی کار لازم، درصد استخدام را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. با افزایش استخدام، نیروی کار افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد نیروی کار، پس از مدتی نیروی کار کافی در مجموعه فراهم‌شده و موجب می‌شود درصد استخدام به صفر برسد. عامل خارجی قیمت در طراحی مدل نیروی کار در معادن بسیار تأثیرگذار است. با نوسان قیمت محصول، مقدار عیار حد[1] مادهٔ معدنی (حداقل عیار قابل استخراج) در جهت مخالف قیمت، نوسان می‌کند و باعث افزایش یا کاهش ذخیرهٔ اقتصادی معدن می‌شود. به بیانی با کاهش قیمت، عیار حد افزایش‌یافته و در نتیجه مقدار ذخیرهٔ قابل استخراج کاهش می‌یابد. در صورت افزایش قیمت، مواد با عیار کمتر به‌دلیل پایین‌بودن عیار حد، جزء مواد معدنی محسوب می‌شوند و تناژ مادهٔ معدنی قابل استخراج را افزایش می‌دهند. با فرض ثابت‌بودن ظرفیت تولید، هرچه میزان ذخیره بیشتر باشد، طول عمر معدن بیشتر می‌شود، در نتیجه تعداد دوره‌های استخدامی افزایش می‌یابد. اگر عمر معدن بیشتر از دورهٔ بازنشستگی کارکنان باشد، نیاز به استخدام نیروی جدید وجود خواهد داشت. همچنین برای آموزش کارکنان، بسته به عمر معدن برنامه‌های کوتاه و بلندمدت اجرا می‌شود (شکل ۴).



شکل ٤. حلقهٔ تقویت‌کنندهٔ R۱ و تعادلی B۱



شکل ۵. حلقهٔ تقویت‌کنندهٔ R۲

1. Cut-off grade

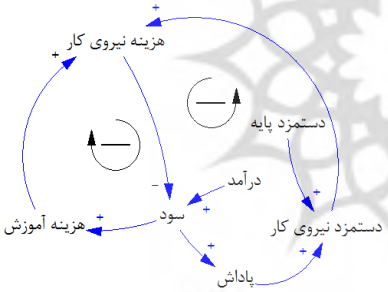
حلقهٔ تقویت‌کنندهٔ کیفیت نیروی کار (R۲)

کیفیت افراد استخدامی، میانگین کیفیت نیروی کار مجموعه را تغییر می‌دهد. در صورت جذب افراد با کیفیت کاری بالا، میانگین کیفیت نیروی کار افزایش می‌یابد و در نتیجه سبب رشد مجموعه و افزایش کیفیت افراد استخدامی می‌شود. این حلقه به‌صورت پیوسته سبب افزایش کیفیت نیروی کار می‌شود (شکل ۵).

حلقه‌های تقویت‌کنندهٔ آموزش (R۳) و انگیزه (R٤)

با افزایش کیفیت نیروی کار، بهره‌وری هر فرد در مجموعه افزایش می‌یابد و سبب می‌شود میزان تولید در دورهٔ زمانی کوتاه‌تری به ظرفیت تولید اسمی برسد. از طرف دیگر با آموزش نیروی کار، سطح مهارت افزایش‌یافته و در زمان مشخص، مقدار مادهٔ معدنی بیشتری با کیفیت بهتر تولید می‌شود و سود بیشتری به‌دست می‌آید. این افزایش سودآوری سیستم را قادر می‌سازد که دوره‌های آموزشی بیشتر و مطلوب‌تری برگزار کند و موجب ارتقای دائم تخصص و مهارت آنها شود. این حلقه به‌صورت فزاینده باعث افزایش سود و کاهش هزینه‌ها می‌شود (شکل ۶).

شکل ٦. حلقه‌های تقویت کننده R۳ و R٤



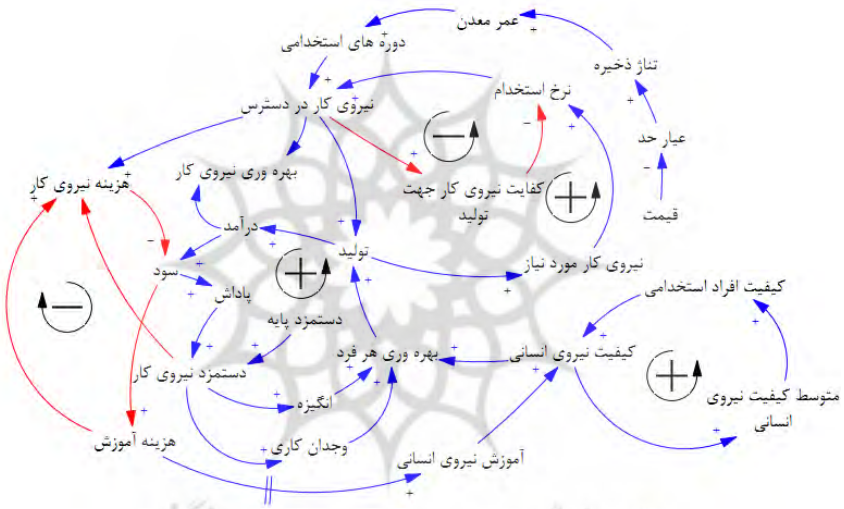
شکل ۷. حلقه های تعادلی B۲ و B۳

حلقه‌های تعادلی هزینه آموزش(B۲) و دستمزد (B۳)

بازخورد مثبت حلقهٔ آموزش و انگیزه در سیستم باعث تحمیل هزینه می‌شود. مقدار این هزینه به مقدار بازخورد مثبت بستگی دارد؛ به بیان دیگر دادن پاداش و هزینه‌کردن در جهت افزایش دانش کارکنان تا زمانی توجیه اقتصادی دارد که موجب سود بیشتر شود. سیستم طی چندین حلقه در جهت افزایش هزینه برای ارتقای کیفیت کارکنان اجرا می‌شود، اما بعد از مدتی متناسب با افزایش هزینه، افزایش سود مطلوب حاصل نمی‌شود. نقطهٔ عطف حلقه (تقابل مقدار هزینه و مقدار سود به‌دست‌آمده از آموزش نیروی کار)، زمانی است که کارگاه‌های آموزشی جوابگوی انتظارات مطلوب نباشند. در نتیجه هزینهٔ کارگاه‌های آموزشی کاهش می‌یابد و حلقهٔ منفی غالب

می‌شود. با اجرای این حلقه، سیستم تعادلی بین مقدار هزینه برای بالابردن کیفیت کارکنان و مقدار هزینهٔ تحمیل‌شده به سیستم برقرار می‌شود. شکل ۷ سازوکار بیان‌شده را به تصویر کشیده است.

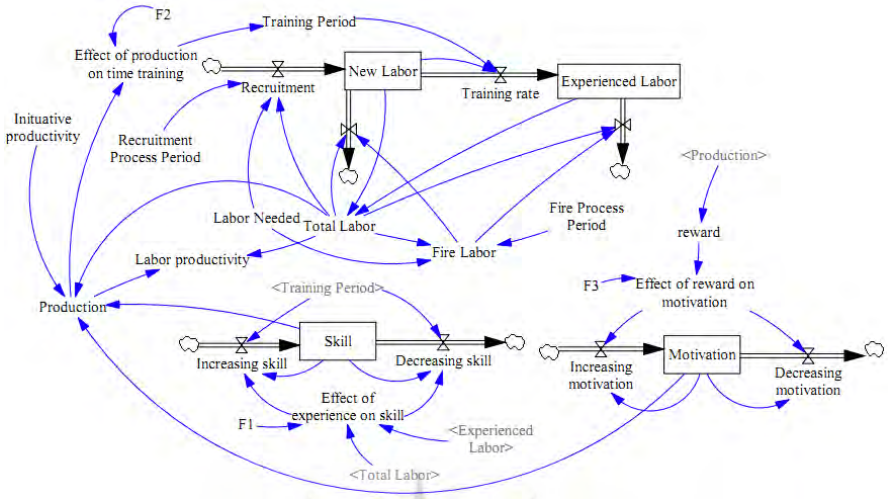
در شکل ۸ حلقه‌های گفته‌شده (تقویت‌کنندهٔ استخدام (R۱)، تعادل کفایت نیروی کار (B۱)، تعادل هزینهٔ آموزش (B۲) و دستمزد (B۳)، تقویت‌کنندهٔ آموزش (R۳) و انگیزه (R۴)، تقویت‌کنندهٔ کیفیت نیروی کار (R۲) ادغام شدند و در نهایت مدل کیفی بهره‌وری نیروی کار در قالب نمودار علی ـ معلولی به‌دست آمد.



شکل ۸. مدل مفهومی نیروی کار

گام سوم؛ مدل حالت و جریان و توسعهٔ معادلات ریاضی بهره‌وری نیروی کار

در شکل ۹، مدل حالت جریان بهره‌وری نیروی کار مشاهده می‌شود و در ادامه روابط ریاضی بین متغیرها با استفاده از نظر خبرگان (کارشناسان و مدیران با سابقهٔ کافی و تحصیلات مرتبط در شرکت فولادی مورد مطالعه و برخی از استادان مرتبط با موضوع) و مطالعات انجام‌شده توسعه داده شده است. این مدل در نهایت امکان محاسبهٔ بهره‌وری نیروی کار را با توجه به تراکنش میان متغیرهای مؤثر نظیر درصد استخدام، درصد آموزش، درصد اخراج، پاداش، انگیزه، مهارت، تجربه، تولید و... فراهم می‌کند. این متغیرها به کمک رابطه‌های ۱ تا ۷ محاسبه می‌شوند.



شکل ۹. مدل ریاضی بهره‌وری نیروی کار در معادن

بهره‌وری نیروی کار (LP)[1] در پایان دورهٔ بررسی، نسبت بین میزان تولید (P)[2] و تعداد نیروی‌کار[3] (TL) است و میزان تولید به ازای هر نفر را نشان می‌دهد (رابطهٔ ۱).

رابطهٔ ۱) $$LP = \frac{P}{TL}$$

میزان TL از جمع نیروی کار با تجربه (EL)[4] و نیروی کار جدید (NL)[5] به‌دست می‌آید (رابطهٔ ۲).

رابطهٔ ۲) $$TL = EL + NL$$

میزان NL به‌کمک رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود. در این رابطه، R، FL و TR به‌ترتیب معرف نیروی کار استخدامی (R)[6]، مقدار اخراج کارکنان[7] و تعداد نیروی آموزش‌دیده[8] هستند.

1. Labor Productivity
2. Production
3. Total Labor
4. Experience Labor
5. New Labor
6. Recruitment
7. Fire Labor
8. Training Rate

$$NL = \int (R - TR - FL)$$ رابطهٔ ۳)

میزان R به‌کمک رابطهٔ ۴ به‌دست می‌آید. در واقع اگر نیروی کار کمتر از مقدار لازم باشد، استخدام انجام می‌شود و در غیر این صورت میزان استخدام صفر خواهد بود. در این رابطه LN نشان‌دهندهٔ تعداد نیروی کار مورد نیاز[1] است که با توجه به برنامهٔ تولید در شرکت تعیین می‌شود و در هر مرحله با در نظرگرفتن تعداد لازم وارد مدل می‌شود.

$$R = IF\ THAN\ \ ELSE\ ((LN\ > TL), (LN\ - TL), 0)$$ رابطهٔ ۴)

نیروی کار باتجربه (EL) با استفاده از رابطهٔ ۵ به‌دست می‌آید.

$$EL = \int (TR - FL)$$ رابطهٔ ۵)

مقدار TR به‌کمک رابطهٔ ۶ محاسبه می‌شود. در این رابطه TP معرف تعداد دوره‌های آموزش[2] است.

$$TR = \frac{NL}{TP}$$ رابطهٔ ۶)

تعداد دوره‌های آموزشی (TP) با توجه به نیاز شرکت و با در نظر گرفتن افزایش در تولید برگزار شده و از طریق تابع تقریبی Lookup نمایش داده می‌شود. مقدار تولید نهایی (P) با توجه به میزان تولید به ازای هر نفر محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۷). در این رابطه IP میزان تولید به ازای هر نفر[3] در ابتدای دورهٔ بررسی است. سایر متغیرهای یادشده در این رابطه در ادامه توضیح داده شده‌اند.

$$P = (IP \times TL) \times (3 - S - M)$$ رابطهٔ ۷)

S معرف مهارت نیروی کار[4] بوده و یک کمیت کیفی است که با توجه به مصاحبه‌های انجام‌شده به تعداد افراد با تجربه (EL) بستگی دارد و بین صفر تا یک تغییر می‌کند. هرچه تعداد

1. Labor Needed
2. Training Period
3. Initial Productivity
4. Skill

افراد با تجربهٔ بیشتری در سیستم باشد، مقدار مهارت متوسط نیروی کار به ۱ نزدیک‌تر است. تابع تأثیر نیروی کار باتجربه بر مهارت توسط یک تابع Lookup بیان می‌شود.

M مقدار انگیزه[1] است و بین صفر تا یک در نظر گرفته می‌شود؛ اندازهٔ این متغیر با توجه به مقدار پاداش دریافتی به‌دست می‌آید. مقدار پاداش دریافتی نیز با توجه به تولید (P) تعیین می‌شود. تابع تأثیر پاداش بر انگیزه توسط یک تابع Lookup بیان می‌شود.

IP معرف بهره‌وری هر فرد در ابتدای دوره بوده و برابر با میزان تولید اولیه به ازای هر نفر است و با توجه به داده‌ها و مصاحبه‌ها برآورد می‌شود.

گام چهارم؛ شبیه‌سازی پویای بهره‌وری نیروی انسانی

برای ارزیابی چگونگی عملکرد مدل، داده‌های مجتمع معدنی و صنعتی چادرملو استفاده می‌شود و بهره‌وری نیروی کار با توجه به تأثیر عوامل مؤثر شبیه‌سازی می‌گردد. این شرکت با در اختیار داشتن ذخیره‌ای افزون‌بر ۳۰۰ میلیون تن، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان سنگ و کنسانترهٔ آهن کشور است و در حدود ۳۴ درصد از تولید کشور را به خود اختصاص می‌دهد (ایمیدرو، ۱۳۸۳). به‌منظور اجرای مدل، آمار تولید در دورهٔ ۹۲ – ۸۰ و ذخیرهٔ معدن در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین آمار برگزاری دوره‌های آموزشی، ترکیب و تعداد کارکنان در جدول ۲ جمع‌آوری مشاهده می‌شود.

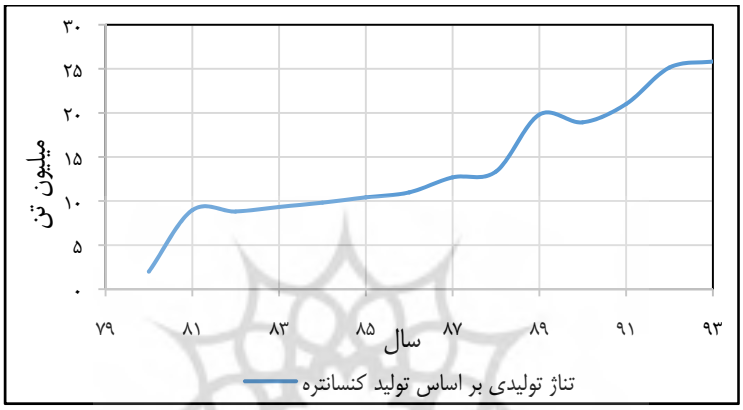
جدول ۱. داده‌های ورودی مدل (میلیون تن)

	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲
ذخیره معدن	۳۲۰	۳۱۶	۳۱۰	۳۰۳	۲۹۶	۲۸۸	۲۸۰	۲۷۳	۲۶۵	۲۵۴	۲۴۳	۲۳۱	۲۱۸
تولید کانسنگ	۴	۶/۶	۷/۹	۸/۵	۸/۸	۹	۹/۱	۱۰/۶	۱۱/۴	۱۲	۱۲/۳	۱۲/۶	۱۴/۷
تولید کنسانتره	۳/۳	۴/۲	۴/۱	۴/۸	۵/۳	۵/۶	۶/۵	۸/۵	۸/۳	۸/۵	۸/۸	۱۰/۴	۱۰/۶
تولید دانه‌بندی	۰	۰/۴	۰/۸	۰/۷	۰/۸	۱	۱/۱	۱/۶	۱/۲	۱/۵	۱/۴	۱/۹	۱/۵
تولید گندله	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۳	۱/۶	۲/۴	۲/۹	۳/۴	۳/۵

برای الگوسازی رفتار مرجع، تولید محصول بر حسب میزان کنسانتره، معادل مجموعه چادرملو در محدودهٔ زمانی ۱۳ ساله از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ ملاک قرار گرفته است (شکل ۱۰).

1. Motivation

روند کلی افزایش تولید به‌صورت نسبی متأثر از افزایش مهارت و انگیزهٔ نیروی کار است. افزایش شایان توجه تولید در سال ۸۱ به‌دلیل افزودن خط تولید جدید است. به بیانی می‌توان گفت که افزایش سود شرکت و سهیم‌کردن کارکنان موجب تقویت انگیزه نیروی کار شده و در هم‌افزایی با سایر عوامل، به افزایش تولید و سود منجر شده است. این امر شرکت را به سمت اضافه‌کردن خط تولید جدید در سال ۸۸ سوق داده است.



شکل ۱۰ روند تغییرات تولید در شرکت چادرملو بر مبنای تولید کنسانتره معادل

توابع تقریبی Lookup در شکل‌های۱۱، ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود. برای نمونه، تابع تأثیر افزایش تولید بر آموزش بیان‌کنندهٔ این است که هرچه نسبت تولید واقعی به ظرفیت تولید به ۱ نزدیک‌تر باشد، تمایل برای افزایش دوره‌های آموزشی بیشتر می‌شود؛ زیرا شرکت نیاز بیشتری به متخصصان و افراد حرفه‌ای دارد. مهارت نیروی کار نیز بیان‌کنندهٔ افراد باتجربه است، هرچه نسبت افراد با تجربه به کل افراد به ۱ نزدیک‌تر باشد، مهارت مجموعه نیز به ۱ نزدیک‌تر است.

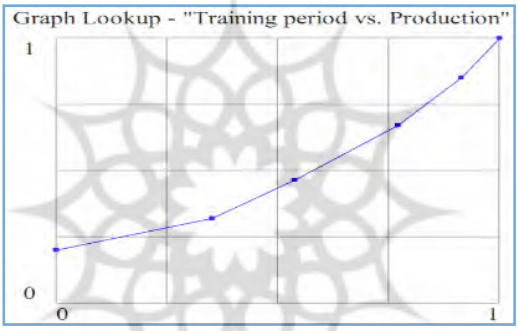
طراحی کارخانهٔ فراوری برای بازیابی ۶۸ درصد، تعداد روز کاری ۳۰۰ روز، عیار کنسانتره ۶۷/۵ درصد، عیار ورودی به کارخانه فراوری ۵۵/۳ درصد و عیار ورودی به کارخانهٔ دانه‌بندی ۶۱ درصد است. کارکنان شرکت، معادل ۷۵۸ نفر ـ ساعت، دوره‌های آموزش تخصصی مرتبط را در خارج از سازمان سپری کرده‌اند. همچنین ۲۱۶ نفر برابر با ۱۲۷۶۰ نفرـ ساعت در محل مجتمع چادرملو آموزش دیده‌اند. از طرف پیمانکار نیز در مجتمع چادرملو ۵۷۸۴ نفرـ ساعت و در مجموعهٔ گندله‌سازی اردکان ۴۵۴۴ نفرـ ساعت دوره‌های آموزشی مد نظر برگزار شده است.

بر اساس آمار سال ۱۳۹۲، تعداد کارکنان شاغل در شرکت چادرملو (امانی و پیمانی) به شرح جدول ۲ است. ۷۲ درصد از نیروی کار در بخش‌های استخراج و تولید، ۵ درصد در بخش‌های

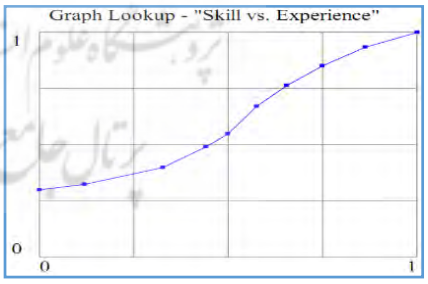
مالی و اقتصادی و ۲۳ درصد در بخش خدمات عمومی مشغول به کارند. از کل کارکنان شرکت (۱۸۲ نفر) حدود ۳۵ درصد کارشناس، کارشناس‌ارشد و دکتری؛ ۴۴ درصد دیپلم و فوق دیپلم و ۲۱ درصد کمتر از دیپلم هستند. شایان ذکر اینکه سیاست کلی شرکت برون‌سپاری خدمات است.

جدول ۲. داده‌های ورودی مدل ترکیب کارکنان شرکت چارملو

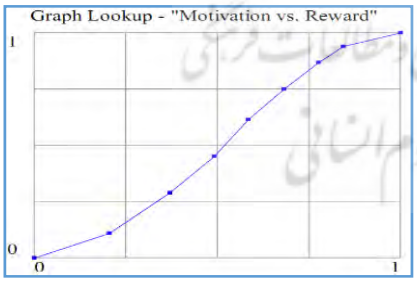
شرح	نوع	تعداد	درصد
کارکنان دائم	امانی	۱۸۲	۵/۰۴
کارکنان پیمانی	پیمانی	۳۴۴۵	۹۴/۹۶
جمع		۳۶۲۷	۱۰۰



شکل ۱۱. تابع تأثیر مقدار تولید به آموزش



شکل ۱۲. تابع تأثیر تجربه بر مهارت



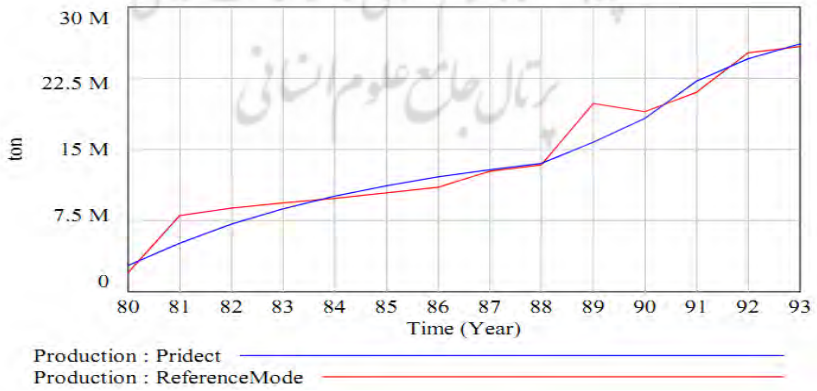
شکل ۱۳. تابع تأثیر پاداش بر انگیزه

در این مطالعه با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌ها، تأثیر دو متغیر اصلی مهارت و انگیزه بر بهره‌وری نیروی کار مجتمع سنگ آهن چادرملو بررسی شده است.

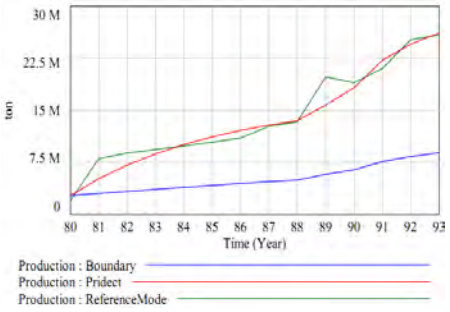
مدل مفهومی ارائه‌شده اغلب متغیرهای مؤثر را در قالب حلقه‌های بازخوردی بیان می‌کند. در مدل ریاضی از داده‌های مالی استفاده نشده و مدل بر اساس داده‌های تولید و متغیرهای کیفی گسترش داده شده است. همچنین ضمن آموزش مدل با داده‌های سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲، بهره‌وری مجموعهٔ چادرملو ارزیابی شد و مدل برای ۲۰ سال به اجرا درآمد. شایان ذکر است که مقدار تولید بر اساس تولید کنسانتره معادل محاسبه شده است. به این صورت که میزان تولید کانسنگ و گندله به مقدار تولید کنسانتره تبدیل شد و تمام محاسبات بر اساس تولید کنسانتره انجام گرفت.

اعتبارسنجی مدل

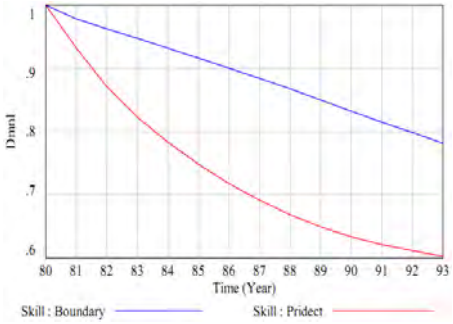
اعتبارسنجی در رویکرد سیستم‌های پویا، بیشتر بر رفتار داده‌ها در طول زمان تأکید دارد که بیان‌کنندهٔ صحت ارتباط ساختار ایجادشده با رفتار تولید شده است. در این تحقیق اعتبار مدل به دو روش آزمون بازسازی رفتار و آزمون شرایط حدی سنجیده شده است (استرمن، ۲۰۰۰ و احمدوند و همکاران، ۱۳۹۳). بدین منظور، مقدار تولید کنسانتره که توسط مدل برای بازه زمانی ۱۳۸۰–۱۳۹۳ پیش‌بینی شده بود با مقدار واقعی تولید در همین بازه مقایسه شده است (شکل ۱۴). محاسبات نشان می‌دهد خطای میانگین حدود ۸ درصد است. همچنین نتایج آزمون شرایط حدی در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ به نمایش گذاشته شده است. برای مثال، اگر مدت زمان استخدام چندین برابر شود، به این معناست که نیروی کار کافی در مجموعه در دسترس نیست، در نتیجه انتظار می‌رود تولید کاهش چشمگیری داشته باشد که شکل ۱۵ مؤید آن است. همچنین اگر بهره‌وری اولیهٔ نیروی انسانی افزایش داشته باشد، به این معناست که متوسط مهارت نیروی کار بالاتر است (شکل ۱۶).



شکل ۱۴. اعتبارسنجی مدل به‌روش بازسازی رفتار مرجع



شکل ۱۵. آزمون شرایط حدی مدت زمان استخدام

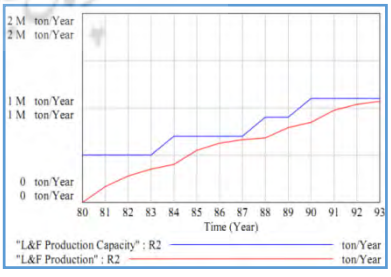


شکل ۱۶. آزمون شرایط حدی بهره‌وری اولیه

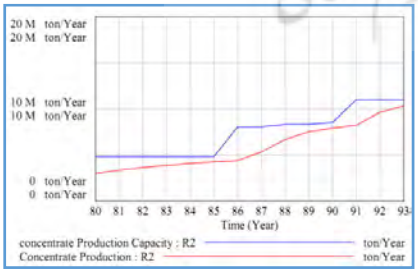
یافته‌های پژوهش

محصولات تولیدی شامل سنگ آهن دانه‌بندی‌شده، کنسانترهٔ آهن و گندلهٔ آهن است که ظرفیت تولید و مقدار واقعی تولید با توجه به مدل مبنا، مدل‌سازی شده است و به‌ترتیب در شکل‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ مشاهده می‌شود.

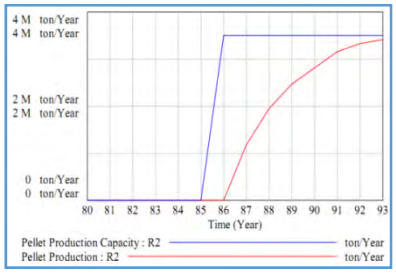
ارزش تولیدات با توجه به مدل مبنا در شکل ۲۰ مشاهده می‌شود و روند رو به رشد آن کاملاً مشهود است. ارزش تولیدات در سنگ آهن دانه‌بندی‌شده کمتر از کنسانتره و گندله است. همچنین ارزش تولیدات در گندله بیشتر از کنسانتره است. این نشان می‌دهد هرچه از خام‌فروشی پرهیز شود، ارزش تولیدات بیشتر خواهد بود. انواع بهره‌وری در این شرکت با توجه به قیمت ثابت سال ۹۰ در شکل‌های ۲۱ تا ۲۴ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده بر اساس مدل مبنا، تغییرات بهره‌وری را طی سال‌های ۸۰ تا ۹۳ نشان می‌دهد. در واقع شکل ۲۳ بیان‌کنندهٔ مقدار درآمد حاصل‌شده به ازای هزینهٔ صرف‌شده برای هر نفر است. به‌دلیل پایین بودن توانایی نیروی کار، بهره‌وری نیروی کار در ابتدا کم بوده و در ادامه با آموزش و بیشترشدن تجربهٔ افراد، بهره‌وری در مجموعه افزایش یافته است. همچنین بزرگ‌ترشدن مجتمع در بهره‌ورشدن نیروی کار تأثیرگذار بوده است.



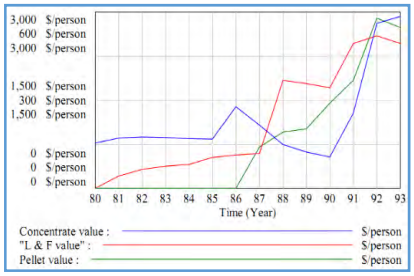
شکل ۱۷. ظرفیت و مقدار تولید دانه‌بندی



شکل ۱۸. ظرفیت و مقدار تولید کنسانتره

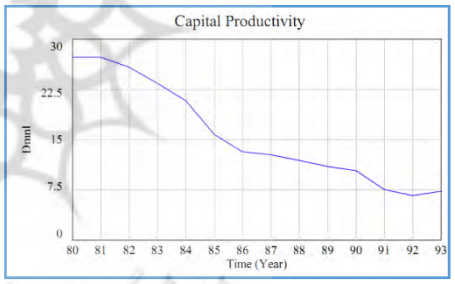


شکل ۱۹. ظرفیت و مقدار تولید گندله

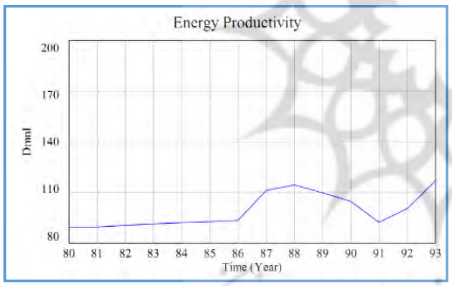


شکل ۲۰. ارزش تولیدات

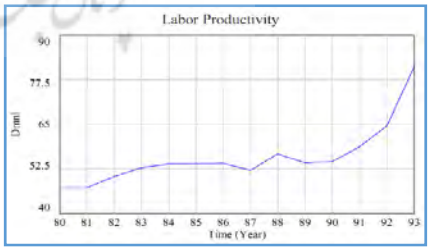
در این بخش با توجه به هدف تحقیق، اثر عوامل منتخب بر بهره‌وری نیروی کار با استفاده از مدل پیشنهادشده، ارزیابی می‌شود. میزان انگیزه وابسته به مقدار دستمزد و پاداشی است که کارکنان دریافت کرده‌اند. در حالت پایه، زمانی که میزان تغییرات انگیزه نسبت به حالت پایه صفر باشد، میزان بهره‌وری نیروی کار مقدار پایه ۷۰۰۰ تن به ازای هر نفر در سال است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، چنانچه در مدت ۲۰ سال انگیزهٔ کارکنان از ۱ به ۰/۵ کاهش پیدا کند، میزان بهره‌وری از ۷۰۰۰ تن به ازای نفر در سال، به ۶۱۰۰ تن به ازای هر نفر کاهش پیدا می‌کند.



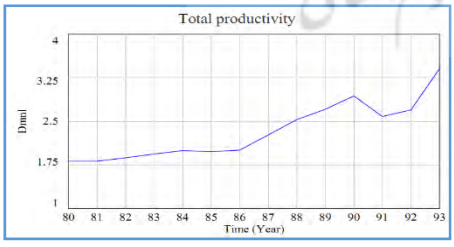
شکل ۲۱. بهره‌وری سرمایه



شکل ۲۲. بهره‌وری انرژی

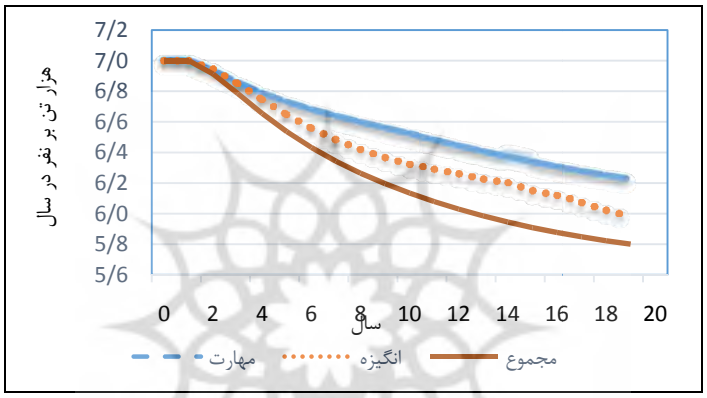


شکل ۲۳. بهره‌وری نیروی کار



شکل ۲٤. بهره‌وری کل

مهارت یکی دیگر از عوامل مهمی است که بر بهره‌وری نیروی کار تأثیر می‌گذارد. مهارت به‌صورت حداقل تجربهٔ مورد نیاز تعریف می‌شود. در حالت پایه، زمانی که تغییرات مهارت نیروی کار نسبت به حالت اولیه صفر باشد، بهره‌وری نیروی‌کار ۷۰۰۰ تن به ازای نفر در سال است که با کاهش مهارت تا میزان ۰/۵، بهره‌وری نیروی کار ۶۳۰۰ تن بر نفر در سال حاصل خواهد شد (شکل ۲۵). با کاهش همزمان مهارت و انگیزه، مقدار بهره‌وری به اندازهٔ مجموع دو عامل کاهش پیدا نمی‌کند. در شکل ۲۵ مشاهده می‌شود در شرایطی که هر دو عامل ۵۰ درصد کاهش پیدا می‌کنند، ابتدا بهره‌وری کاهش شدید ندارد، اما در بلندمدت اثر شدیدتری بر بهره‌وری می‌گذارد.



شکل ۲۵. مقایسهٔ بهره‌وری در سه حالت مختلف

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نیروی کار یکی از عوامل کلیدی در بهره‌وری معادن به‌شمار می‌رود. روش‌های متعددی برای ارزیابی بهره‌وری ارائه شده، ولی روابط متقابل مجموعهٔ عوامل و کنش و واکنش‌های بین آنها در کانون توجه قرار نگرفته است. رویکرد ارائه‌شدهٔ سیستم‌های پویا، امکان مدل‌سازی بهره‌وری انواع نهاده‌های سرمایه و انرژی را فراهم کرد. در این راستا، مدل کیفی بهره‌وری نیروی کار با هدف تبیین ساختار پیچیدهٔ عوامل مختلف تأثیرگذار، در قالب ۱۴ حلقهٔ بازخوردی علت و معلولی طراحی شد. در ادامه روابط ریاضی بین عوامل مختلف به‌دست آمد و در نهایت مدل کمّی بهره‌وری نیروی کار ساخته شد.

عملکرد مدل با اجرای آن در شرکت معدنی و صنعتی چادرملو (تولیدکنندهٔ یک‌سوم سنگ و کنسانترهٔ سنگ آهن کشور)، ارزیابی شد. در این راستا، سناریوی پایه با مقدار اولیهٔ بهره‌وری

نیروی کار، ۷۰۰۰ تن بر نفر (در سال) تعریف شد. بر اساس شبیه‌سازی صورت‌گرفته، با کاهش ۵۰ درصدی انگیزهٔ کارکنان مشاهده شد که بهره‌وری به کمتر از ۶۱۰۰ تن کاهش یافت. همچنین با کاهش ۵۰ درصدی مهارت، میزان بهره‌وری به ۶۳۰۰ تن تقلیل یافت. در حالتی که هر دو عامل به‌طور همزمان کاهش یابند، میزان کاهش بهره‌وری به اندازهٔ کاهش مجموع هر دو عامل نبود.

بررسی توزیع برنامه‌های آموزشی نشان می‌دهد تنها ۳۰ درصد برنامه‌های آموزشی به کارکنان پیمانکار اختصاص یافته است. این کارکنان عهده‌دار اصلی عملیات تولید در معدن به‌شمار می‌روند و برنامه‌های آموزشی بیشتری را می‌طلبند. افزون‌بر آن، کارکنان پیمانکار گاهی در طول دورهٔ پیمان تغییر می‌کنند و به تجدید دوره‌های آموزشی نیاز دارند. از آنجا که پیمانکار بهره‌برداری به‌صورت دوره‌ای از طریق مناقصه انتخاب می‌شود، لازم است به حداقل دانش و تجربهٔ کارکنان بهره‌بردار در فرایند انتخاب توجه شود، ضمن آن که برنامه‌های آموزشی در خصوص هر پیمانکار جدید تکرار شود. همچنین ارائهٔ برنامه‌های پایش انگیزش و تدوین برنامه‌های هدف‌گذاری فردی از طریق خوداظهاری می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

مدل پویای پیشنهادشده، می‌تواند به‌عنوان روش قوی و انعطاف‌پذیر برای شبیه‌سازی بهره‌وری نیروی کار در معادن، به‌منظور یافتن علل ریشه‌ای کاهش بهره‌وری استفاده شود. هرچند خروجی‌های مدل به بررسی بیشتری نیاز دارد، تحلیل ساختارهای پیچیده و رفتار پویای عوامل مؤثر می‌تواند باعث فراهم‌آمدن اطلاعات با ارزش برای تصمیم‌گیرنده شود.

References

Ahmadvand, A., Khodadadi A, H., Mohammadiani, Z., (2015). An analysis of housing market in Tehran Province using system dynamics. *Journal of Industrial Management*, 6(4), 665-683. (*in Persian*)

Ansari Ranani, Gh., and Sabzi Aliabadi, S. (2009). "Prioritizing the effective organizational factors in improving labor productivity in small industries Business Review. 39, 49-64. (*in Persian*)

Aydin, H., & Tilton, J. E. (2000). Mineral endowment, labor productivity, and comparative advantage in mining. *Resource and Energy Economics*, 22(4), 281-293.

Bartelsman, E., Haltiwanger, J., & Scarpetta, S. (2013). Cross-country differences in productivity: The role of allocation and selection. *The American Economic Review*, 103(1), 305-334.

Calcagnini, G., & Travaglini, G. (2014). A time series analysis of labor productivity. Italy versus the European countries and the US. *Economic Modelling*, 36, 622-62.

Connell, J., & Hannif, Z. (2009). Call centres, quality of work life and HRM practices: An in-house/outsourced comparison. Employee Relations, 31(4), 363-381.

Cost control and margin protection in the South African mining and metals industry. (2013). http://emergingmarkets.ey.com/.

Dai, J., Goodrum, P. M., & Maloney, W. F. (2009). Construction craft workers' perceptions of the factors affecting their productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(3).

Elahi, M., Lotfi, M:M., (2014). A System Dynamics Approach for Analyzing the Human Resource Changes in Sedan Tire Industry of Iran. *Journal of industrial management*, 5(2), 23-48. . (*in Persian*)

Erba, E., & Aplin, R. (1996). Factors affecting labor productivity and cost per gallon in fluid milk plants. *Journal of dairy science*, 79(7), 1304-1312.

Forrester, J. W. (1992). Policies, decisions and information sources for modeling. *European Journal of Operational Research*, 59(1), 42-63.

Galdon-Sanchez, J. E., & Schmitz Jr, J. A. (2003). Competitive pressure and labor productivity: world iron ore markets in the 1980s. *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, 27(2), 9-23.

Garcia, P., Knights, P. F., & Tilton, J. E. (2001). Labor productivity and comparative advantage in mining: the copper industry in Chile. *Resources Policy*, 27(2), 97-105.

Hajgholam Saryazdi, A., & Porserajian, D. (2011). "Extraction dynamics in the behavior of knowledge based companies in science and technology parks with System Dynamics Approach 1th Nati. Conf. Systenic Approach, Shiraz, Iran. (*in Persian*)

Hanna, A. S., Taylor, C. S., & Sullivan, K. T. (2005). Impact of extended overtime on construction labor productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(6), 734-739.

Helo, P., Hilmola, O.-P., & Maunuksela, A. (2000). Modelling product development productivity with system dynamics. Paper presented at the The 18th International Conference of the Systems Dynamics Society (Bergen Norway).

Iranian Mines and Mining Industry Development and renovation Organization (IMIDRO)., (2004). “Report of anticipated production schedule and the investment of mining equipment and processing iron ore mines in the 30-year horizon.” Tehran, Iran. (*in Persian*)

Joaquín Jara, J., Pérez, P., & Villalobos, P. (2010). Good deposits are not enough: Mining labor productivity analysis in the copper industry in Chile and Peru 1992–2009. *Resources Policy*, 35(4), 247-256.

Katsanis, C. J. (2003 .(system dynamics modeling for a decision support system for assessing construction productivity. Paper presented at the 5th Construction Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada.

Mahmoodi, Z., Sayadi, A.R. Rajabzade Ghatari, A. (2015). “Energy productivity evaluation in mines using system dynamics approach.” 3th. cof. of surface mines., Kerman. (*in Persian*)

Mawdesley, M. J., & Al-Jibouri, S. (2009). Modelling construction project productivity using systems dynamics approach. *International Journal of Productivity and performance management*, 59(1), 18-36

Nasirzadeh, F., & Nojedehi, P. (2013). Dynamic modeling of labor productivity in construction projects. *International Journal of Project Management*, 31(6), 903-911.

Soltaninejad, M. Shahraki, A. & Jahanshahi, M. (2012). A System Dynamics Model for Productivity in National Iranian Copper Industries Company – Sarcheshmeh, Kerman. *Interdisciplinary Journal Of Contemporary Research In Business*, 4(2), 425-435.

Soekiman, A., Pribadi, K., Soemardi, B., & Wirahadikusumah, R. (2011). Factors relating to labor productivity affecting the project schedule performance in Indonesia. *Procedia Engineering*, 14, 865-873.

Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, (Vol. 19): Irwin/McGraw-Hill Boston.

Sushil. (1993). *System dynamics: a practical approach for managerial problems*: Wiley Eastern Limited, Dlhi, India.

Tilton, J. E. (2001). Labor productivity, costs, and mine survival during a recession. *Resources Policy*, 27(2), 107-117 .