

مدل سازی مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات بر اساس رویکرد پویایی سیستم

مهرداد حمصیان اتفاق*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۴ نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات نیازمند تصمیم‌گیری آینده‌نگر با رویکردی جامع است. در دنیای پرقابلیت امروز بهره‌وری ماشین‌آلات یکی از مؤلفه‌های اساسی و مهم تضمین موفقیت و سودآوری در پروژه‌های ساخت است. با توجه به اینکه هر ساله بیشترین بودجه عمرانی کشور صرف هزینه‌های مربوط به ماشین‌آلات ساختمانی می‌شود، بنابراین، افزایش بهره‌وری در این زمینه، نیازمند یک چارچوب مفهومی دقیق و نظام‌مند است. مدیریت ماشین‌آلات یک پدیده پویا است که با گذر زمان تغییر می‌کند و عوامل متعددی روی آن تأثیرگذار است که هر یک از آنها نیز در گذر زمان تغییر می‌کنند. در این تحقیق، برای پیاده‌سازی و درک بهتر مدل‌سازی مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات از ابزار پویایی سیستم (نمودارهای علت و معلولی) بهره بردیم. از آنجایی که مدل‌هایی که به دور از بینش خبرگان، کارشناسان و عوامل پروژه استفاده‌کننده از مدل باشند، کاربردی و قابل اجرا نخواهد بود. در همین راستا، به عنوان مطالعه موردی، ۲۰ پروژه بزرگ (بالای یک میلیارد) عمران شهرداری اصفهان در بین سال‌های ۹۲ تا ۹۵ با استفاده از توزیع ۵۲ پرسشنامه در بین عوامل پروژه (کارفرما، پیمانکار و مشاور) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیقات نشان داد که نحوه مدیریت، عملکرد فنی ماشین، شرایط کارگاه، نیروی انسانی و آموزش، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات در پروژه‌هاست.

واژگان کلیدی: مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات، مدت زمان خرابی ماشین‌آلات، پویایی سیستم‌ها.

*. دانشگاه آزاد اسلامی خمینی شهر

مقدمه

ماشین‌آلات را می‌توان یکی از مهم‌ترین ابزارها در هر پروژه عمرانی برای دستیابی به هدف پروژه که همان انجام پروژه در زمان تعیین‌شده با بودجه تنظیمی است، به شمار آورد. افزون بر این، جزء اقلام پرهزینه برای پیمانکاران است که عدم مدیریت صحیح آنها می‌تواند باعث کاهش سود و حتی زیان مالی شود (علوی و مرتهب، ۱۳۸۸). در پروژه‌های بزرگ، قسمت عمده هزینه پروژه، مربوط به ماشین‌آلات و تجهیزات است. از این رو یکی از عوامل مهم در انجام موفق طرح‌ها و پروژه‌ها، نقش ماشین‌آلات و به تبع آن نحوه مدیریت صحیح آنها است (نادری و همکاران، ۱۳۸۷). بهره‌وری مفهومی جامع و به معنای کارایی و اثربخشی است. بهره‌وری از دیدگاه سیستمی عبارت است از نسبت بین مجموعه خروجی‌های یک سیستم به ورودی‌های آن. این تعریف در سیستم‌های مختلف اجتماعی، فرهنگی و صنعتی کاربرد دارد. طبق رابطه ۱، صورت کسر که خروجی‌های سیستم هستند، می‌تواند به شکل فیزیکی (میزان تولید ماشین یا حجم کار انجام‌شده ماشین) و مخرج کسر (ساعات کاری ماشین‌آلات) تعریف شود (طاهری، ۱۳۹۳).

$$(۱) \text{ ورودی‌ها / خروجی‌ها = نهاده (ها) / ستانده (ها) = } p$$

در دنیای پرقاب‌ت امروز، بهره‌وری یکی از مؤلفه‌های اساسی و مهم تضمین موفقیت و سودآوری یک صنعت یا یک پروژه محسوب می‌شود. بهره‌وری را می‌توان مستقیماً به میزان کاهش هزینه‌ها و یا افزایش سودآوری پروژه نسبت داد. از آنجا که در همه پروژه‌ها ضمن حفظ کیفیت، کاهش هزینه‌ها و زمان اجرا و نیز به دست آوردن سود بیشتر مد نظر است، بنابراین، با بهبود بهره‌وری می‌توان سودآوری پروژه را تضمین کرد (علوی و مرتهب، ۱۳۸۸). امروزه با وجود بسیاری از اجزای فناوری در داخل کشور، اعم از انبوه نیروی انسانی جوان و متخصص، ماشین‌آلات پیشرفته موجود و نیز توسعه نسبی دانش‌های فنی مستند و سیستم‌های اطلاعاتی، هنوز پروژه‌های عمرانی کشور به درجه‌ای شایسته و مطلوب از بهره‌وری دست نیافته‌اند و متأسفانه ارقام بهره‌وری در کشور از وضعیت مطلوبی برخوردار نیست (سیط و شاه حسینی، ۱۳۸۵؛ طاهری، ۱۳۹۳). ما معمولاً به جای بررسی علل اصولی و ریشه‌یابی مشکلات به نشانه‌های مشکلات توجه می‌کنیم. برای حل این مشکل می‌بایست ابزاری ایجاد کنیم که با استفاده از آنها بتوانیم ساختار سیستم‌های پیچیده و رفتار آنها را درک کنیم. پویایی‌شناسی سیستم‌ها، دیدگاه و مجموعه‌ای از ابزارهای مفهومی است که به ما توانایی درک ساختار و پویایی سیستم‌های پیچیده را می‌دهد. همبستگی بین دو متغیر تنها نشان‌دهنده این است که افزایش یا کاهش یک متغیر چه تأثیری برافزایش یا کاهش متغیر دیگر دارد، ولی این همبستگی ضرورتاً دال بر رابطه علت و معلولی بین متغیرها نیست. بنابراین باید بین مفاهیم همبستگی و رابطه علت و معلولی تفاوت قائل شویم. به بیان دیگر، ممکن است دو متغیر همبستگی داشته باشند ولی لزومی ندارد که یکی از متغیرها علت و دیگری معلول باشد (استرمن، ۲۰۰۰). بنابراین، در این تحقیق با توجه به اینکه مقوله بهره‌وری ماشین‌آلات یک پدیده پویاست که با گذر زمان دچار تغییر و تحول می‌شود و با توجه به تعدد عوامل مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات، تعامل و اثر تقابل هر یک از عوامل بر یکدیگر، متغیر بودن عوامل در طی زمان و درک ساختار

پیچیده سیستم حاکم بر مدیریت ماشین‌آلات، استفاده از ابزار پویایی سیستم به منظور درک و ارزیابی بهره‌وری ماشین‌آلات، رویکرد لازم و نوین خواهد بود. پویایی‌شناسی سیستم‌ها^۱ از ابزارهای نموداری مختلفی از جمله: نمودارهای علت و معلولی^۲ برای درک ساختار سیستم استفاده می‌کند. از آنجا که بهره‌وری در صنعت ساخت مستقیماً با خرابی ماشین‌آلات و عواقب آن مرتبط است، مدیران ما می‌توانند با پیش‌بینی عوامل و اثرات خرابی ماشین در پروژه، با اقدامات مناسب از کاهش بهره‌وری ماشین‌آلات جلوگیری کنند (پراسرترانگ و هادی کوسومو، ۲۰۰۸). پراسرترانگ^۳ و هادی کوسومو^۴ با استفاده پویایی سیستم (نمودارهای علت و معلولی) به مدل‌سازی خرابی ماشین‌آلات برای پیمانکاران کوچک تا متوسط بزرگراه پرداخته است و نمودارهای علت و معلولی خود را در ۵ زیرسیستم کلی، بازخورد کسب ماشین، بازخورد عملیاتی ماشین، بازخورد تعمیر و نگهداری، بازخورد ترخیص ماشین و بازخورد مدت‌زمان خرابی ماشین ترسیم کرده است. همچنین در این پژوهش، به طور تصادفی با جمع‌آوری اطلاعات از ۵ تا از پیمانکاران کوچک تا متوسط بزرگراه نمودارهای علت و معلولی خود را اعتبارسنجی کرده است (پراسرترانگ و هادی کوسومو، ۲۰۰۹). پراسرترانگ و هادی کوسومو همچنین با شناسایی روش‌های مدیریت تجهیزات و گروه‌بندی آنها طبق ۵ گروه معرفی شده قبلی (کسب، عملیاتی، تعمیر و نگهداری، ترخیص و مدت‌زمان خرابی) آنها را به عنوان ۵ متغیر پنهان معرفی و با شناسایی متغیرهای آشکار از طریق پرسشنامه و با استفاده از روش معادلات ساختاری از طریق نرم‌افزار لیزرل ارتباط بین چند عامل مهم را مدل‌سازی کرده است (پراسرترانگ و هادی کوسومو، ۲۰۰۹). یکی از مهم‌ترین مسائلی که اغلب پیمانکاران برای اجرای پروژه‌های خود با آن مواجه هستند، بحث اجاره یا خرید ماشین‌آلات است. هزینه‌ای که برای خرید ماشین‌آلات صرف می‌شود، باید به عنوان سرمایه‌ای در نظر گرفته شود که بتوان آن را با مقداری سود در مدت طول عمر مفید ماشین‌آلات بازگرداند. پیمانکار هرگز نباید به دنبال آن باشد که تمام انواع و اقسام ماشین‌آلات مورد نیاز پروژه‌ای را که انجام می‌دهد، خریداری کند ولی امکان دارد به وسیله خریداری ماشین‌آلاتی که در پروژه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، نیاز خود را برطرف کند (نهری و کاردان، ۱۳۹۲). سیدارف^۵ و پیترودا^۶ با جمع‌آوری کلی مقالات مربوط به اجاره و خرید ماشین‌آلات به تجزیه و تحلیل و مقایسه این دو روش در پروژه‌های عمرانی پرداخته‌اند و رایج‌ترین روش‌ها برای تصمیم‌گیری اجاره یا خرید ماشین‌آلات را بررسی کرده‌اند (سیدارف و پیترودا، ۲۰۱۵). در این پژوهش، با بررسی و شناسایی عوامل مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات از سوی عوامل پروژه (کارفرما، پیمانکار و مشاور)، مدل‌های ارائه‌شده به وسیله تحلیل‌های آماری، تحلیل عاملی و معادلات ساختاری تجزیه و تحلیل شده است و سپس با استفاده از نمودارهای علی و معلولی و تفکر سیستمی، ارتباط بین هر یک از متغیرها در غالب حلقه‌های بسته مورد

-
1. Systems dynamics
 2. Causal Loop Diagrams (CLD)
 3. prasertrunguang
 4. hadikusumo
 5. Siddharth
 6. Pitroda

بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است تا علل بهره‌وری پایین ماشین‌آلات و انتخاب بهترین سیاست‌ها برای بهبود مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات در پروژه‌های عمرانی به مدیران این صنعت پیشنهاد شود.

روش تحقیق

روش پویایی سیستم

پویایی‌شناسی سیستم‌ها روشی برای درک رفتارهای یک سیستم پیچیده در طول زمان است. همه انسان‌ها در همه‌جا با پدیده‌های دینامیکی در همه زمینه‌ها و سطوح مختلف رو به رو هستند. تمام آدمیان پدیده‌های واقعی را با مدل در ذهن جا می‌دهند و سپس نتیجه‌گیری و درک می‌کنند. بنابراین، مدل‌ها تنها ابزار فهم بیرون (دنیای واقع) هستند. نمودارهای علت و معلولی یکی از ابزارهای مهم پویایی سیستم برای نشان دادن ساختار بازخوردی سیستم‌هاست (استرمن، ۲۰۰۰). برای ترسیم مدل‌های علت و معلولی از نرم‌افزار ونسیم^۱ استفاده کردیم. یکی از ابزارهای پویایی‌شناسی سیستم‌ها، استفاده از نمودارهای علت و معلولی است که در بخش بعدی به اختصار توضیح داده می‌شود.

نمودارهای علت و معلولی

نمودارهای علت و معلولی ابزاری مهم برای نشان دادن ساختار بازخوردی سیستم‌هاست. یک نمودار علی از تعدادی متغیر تشکیل شده که به وسیله پیکان‌هایی که نشان‌دهنده تأثیرهای علی بین متغیرها هستند به هم متصل شده‌اند. نماد حلقه در جهت تأثیر کلی حلقه مربوطه ترسیم می‌شود. یک رابطه مثبت به این معناست که اگر علت افزایش یابد، معلول به میزانی بیشتر از آنچه در غیر این صورت می‌بود، افزایش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد، معلول نیز به میزانی کمتر از آنچه در غیر این صورت می‌بود، کاهش خواهد یافت. معنی یک رابطه منفی این است که اگر علت افزایش یابد، معلول به میزانی کمتر از آنچه در غیر این صورت می‌بود، کاهش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد، معلول به میزانی بیش از آنچه در غیر این صورت می‌بود، افزایش می‌یابد. هنگام تعیین علامت هر کدام از رابطه‌ها، دیگر متغیرها ثابت فرض می‌شود (استرمن، ۲۰۰۰).

صحت‌سنجی مدل

مدل‌سازی اثربخش بر پایه داده‌های قوی و درک این موضوع‌ها قرار دارد. مدل‌سازی یک مکمل عالی برای دیگر ابزارهاست نه جایگزین آنها. مدل‌هایی که به دور از بینش خبرگان، کارشناسان و مدیران اجرایی استفاده‌کننده از مدل باشد، هرگز باعث تغییر مدل‌های ذهنی عمیق نمی‌شوند و در نتیجه، رفتار او را تغییر نمی‌دهند (استرمن، ۲۰۰۰). بنابراین، مدل‌ها بعد از تکمیل می‌بایست مورد آزمایش و تأیید کارشناسان و عوامل پروژه (کارفرما، پیمانکار و مشاور) قرار بگیرد و به تدریج از طریق مقایسه دائمی مدل با داده‌های قبلی (ادبیات موضوع) و نظر متخصصان (از طریق پیمایش) مدل ما مورد تأیید و اعتبارسنجی قرار بگیرد. در این مرحله،

حلقه‌های اصلی علت و معلولی از طریق تحلیل آماری، تحلیل عاملی، معادلات ساختاری و همبستگی، تأیید و اعتبارسنجی شد.

جمع‌آوری اطلاعات

در این تحقیق، برای جمع‌آوری اطلاعات از روش پیمایش (مصاحبه و پرسشنامه) استفاده شد. از جمله ویژگی‌های بارز پیمایش، شیوه گردآوری داده‌ها و روش تحلیل آنهاست (نایی، ۱۳۹۴). به منظور بررسی اهداف تحقیق، پرسشنامه‌ای در پنج گروه طراحی شد. پنج گروه پرسشنامه به طور خلاصه به شرح زیر هستند:

۱. مدیریت پروژه: تخصیص، پی‌گیری و کاربرد منابع برای رسیدن به اهداف مشخص در یک دوره زمانی خاص را مدیریت پروژه می‌گویند. به بیان دیگر، مدیریت پروژه به کارگیری دانش، مهارت‌ها، ابزارها و تکنیک‌ها برای فعالیت‌های پروژه به منظور تحقق الزامات پروژه است. از جمله اقدامات مدیریت عبارت‌اند از: دانش، تجربه و توانایی مسئولان اجرایی در تأمین منابع مالی، سیاست‌گذاری‌ها و اتخاذ تصمیمات مناسب مانند: ترخیص و جایگزینی ماشین‌آلات، اهتمام به رعایت مسائل ایمنی، به‌کارگیری و استفاده از نیروهای انسانی مناسب و بازرسی‌های روزانه است؛

۲. برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری: کلیه اقداماتی که پیش از وقوع یک مشکل و همچنین در هنگام وقوع آن، برای تعمیر و نگهداری و افزایش کیفیت ماشین‌آلات انجام می‌گیرد، مانند: تعمیر ماشین‌آلات خراب و برنامه‌ریزی برای تعمیر و اقدامات نگهداری پیشگیرانه مانند تأمین قطعات یدکی، توجه به کیفیت قطعات و شرایط نگهداری ماشین‌آلات است؛

۳. شرایط کارگاه: یکی از مباحث مهم و اثرگذار در پیشرفت کار، کیفیت اجرای پروژه و افزایش بهره‌وری ماشین‌آلات، شرایط کارگاه می‌باشد. این موضوع به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر توانایی‌های نیروی انسانی و بهره‌وری و اثربخشی منابع موردنیاز پروژه تأثیر بسزایی دارد. یک تجهیز خوب می‌تواند یک فرایند خوب را هدایت سیستماتیک کند و یک تجهیز بد، آشفتگی، روزمرگی و هدر دادن منابع موجود در کارگاه را موجب می‌شود. از جمله آیت‌های شرایط کارگاه عبارت‌اند از: وجود برنامه مشخص کاری در کارگاه و همچنین شرایط محیطی مناسب کارگاه مانند شرایط مکانی و برقراری نظم در محیط کارگاه است.

۴. شرایط ماشین‌آلات: شرایط ماشین‌آلات در حقیقت مشخصات و عملکرد فنی مربوط به ماشین را شامل می‌شوند که عبارت‌اند از: عمر ماشین‌آلات، شرایط فنی، میزان تولید و حجم کار ماشین، تعداد ساعات کاری ماشین و غیره می‌باشد.

۵. نیروی انسانی: مدیریت منابع انسانی معطوف به سیاست‌ها، اقدامات و سیستم‌هایی است که رفتار، طرز فکر و عملکرد کارکنان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این پژوهش معطوف به اپراتور و مکانیک است. از جمله عوامل مؤثر بر نیروی انسانی شامل: دانش، تجربه، توانایی و مسئولیت‌پذیری نیروی انسانی است.

▪ بررسی روایی و پایایی پرسشنامه

بعد از تهیه معرف‌ها باید اطمینان حاصل کنیم، آنان همان مفهومی را می‌سنجند که ما می‌خواهیم اندازه‌گیری کنیم (اعتبار)^۱ و نیز مطمئن شویم، می‌توانیم به پاسخ‌هایی که مردم به پرسش‌های ما داده‌اند، اعتماد کنیم. پرسشی که مردم امروز به‌گونه‌ای و فردا به‌گونه‌ای دیگر به آن پاسخ می‌دهند، پرسش بی‌فایده‌ای است (این همان مسئله پایایی است). عاقلانه آن است که اعتبار و پایایی معرف‌ها را قبل از انجام مطالعه اصلی ارزیابی کنیم. بدین منظور، باید از آزمون مقدماتی (پرسشنامه اولیه) سود جست و پرسش‌ها را برای نمونه‌ای مشابه نمونه اصلی ولی کوچک‌تر از آن مطرح کرد (نایی، ۱۳۹۴).

بررسی پایایی پرسشنامه به وسیله آلفای کرونباخ

شاخص آلفای کرونباخ یکی از آماره‌های مناسب برای بررسی پایایی پرسشنامه است که در این تحقیق به آن استناد شده است. آلفای کرونباخ معمولاً شاخص کاملاً مناسبی برای سنجش قابلیت اعتماد ابزار اندازه‌گیری و هماهنگی درونی میان عناصر آن است. ضریب آلفای کرونباخ، بین صفر و یک است که در واقع، همان ضریب همبستگی داده‌ها در زمان‌های مختلف است. عدد یک، حداکثر همبستگی و عدد صفر، حداقل همبستگی را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که ضریب آلفای کرونباخ کمتر از ۰.۶۰ درصد معمولاً ضعیف تلقی می‌شود. دامنه ۰.۷۰ درصد قابل قبول و بیش از ۰.۸۰ درصد خوب تلقی می‌شود. البته هر چه قدر ضریب اعتماد به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بهتر است (رامین مهر و چارستاد، ۱۳۹۴). در جدول ۱ مقدار شاخص آلفای کرونباخ را برای هر یک از گروه‌های پرسشنامه نهایی محاسبه شده است. با توجه به مقدار این شاخص همه گروه‌های طراحی شده از پایایی قابل قبولی برخوردار بوده‌اند.

جدول ۱: شاخص آلفای کرونباخ برای هر یک از فاکتورهای پرسشنامه

فاکتور	تعداد سؤالات	آلفای کرونباخ
مدیریت پروژه	۱۶	۰/۸۶۴
برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری	۵	۰/۷۵۲
شرایط کارگاه	۵	۰/۷۴۱
ماشین	۵	۰/۷۳۷
نیروی انسانی	۱۰	۰/۹۱۹

آمار توصیفی

در این پژوهش، ۱۰ نفر از پاسخ‌دهندگان مشاور، ۲۵ نفر کارفرما و ۱۷ نفر را پیمانکاران در پروژه‌های بزرگ عمران شهرداری اصفهان تشکیل دادند. کل جامعه آماری این تحقیق ۲۰ پروژه است که در هر پروژه به طور متوسط تعداد ۳ نفر (کارفرما، پیمانکار و مشاور) انتخاب شدند (اندازه حجم نمونه ۵۲ نفر ماست که از طریق

1. Validity

فرمول کوکران و جدول مورگان به دست آمد). پاسخ‌دهندگان به سؤالات پرسشنامه می‌بایست با توجه به طراحی پرسشنامه به دو صورت به سؤالات مربوط پاسخ می‌دادند. در یک گروه از پاسخ‌دهندگان درخواست شد که اهمیت عوامل را بر بهره‌وری ماشین‌آلات با توجه به آنچه انتظار دارند، مشخص کنند که ما این گروه را از این به بعد در این تحقیق وضعیت مطلوب ماشین‌آلات از نظر کارشناسان می‌نامیم. در گروه بعدی از پاسخ‌دهندگان درخواست شده که وضعیت بهره‌وری ماشین‌آلات را با توجه به پروژه اجرایی خودشان که مشغول به فعالیت هستند، مشخص کنند. از این به بعد در این تحقیق ما این گروه را وضعیت موجود ماشین‌آلات در پروژه‌های عمرانی می‌نامیم. بنابراین، با در نظر داشتن دو گروه وضعیت مطلوب بهره‌وری ماشین‌آلات از نظر عوامل پروژه و وضعیت موجود که در اجرای واقعی پروژه‌ها با آن رو به رو هستیم، می‌توانیم با مقایسه این دو وضعیت بررسی کنیم که چه میزان بهره‌وری ماشین‌آلات ما از نظر کارشناسان و عوامل پروژه با حالت مطلوب فاصله دارد. همچنین بررسی کنیم که در چه قسمت‌هایی ضعف بیشتری وجود دارد و بتوانیم با در نظر گرفتن این ضعف‌ها در پروژه‌های آتی، بهره‌وری ماشین‌آلات را در پروژه‌های عمرانی بهبود بخشیم.

تعیین نحوه توزیع داده‌ها

برای تعیین نحوه توزیع نرمال یا غیر نرمال داده‌ها، فرض نرمال بودن هر یک از گروه‌های پرسشنامه در دو وضع مطلوب و وضع موجود مورد آزمون قرار گرفت. با توجه به نتیجه به دست آمده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در جدول ۲ فرض نرمال بودن هر پنج گروه پرسشنامه در وضع مطلوب و موجود در سطح ۰/۰۵ رد می‌شود. به جز وضع موجود، برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری، مقدار احتمال آزمون فرض نرمال بودن برای آن ۰/۰۵۷ به دست آمده است. پس از تحلیل SPSS، در برونداد آزمون کولموگروف - اسمیرنوف اگر آزمون معنی‌دار بود، یعنی مقدار احتمال کوچک‌تر از ۵ صدم بود، به معنی این است که توزیع نرمال نیست و باید از آزمون ناپارامتریک برای تحلیل‌های آماری استفاده کنیم. بنابراین، برای مدل‌سازی معادلات ساختاری از نرم‌افزار ایموس^۱ که قابلیت بررسی آزمون‌های ناپارامتریک را دارد، استفاده شده است.

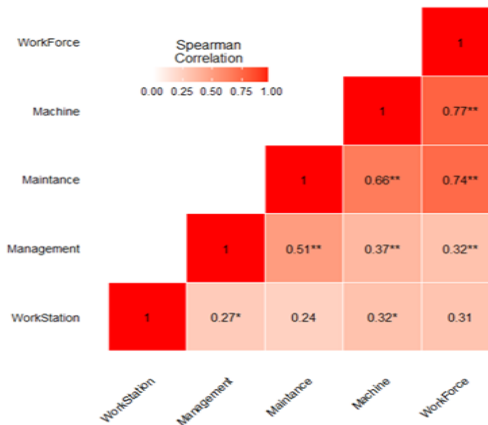
جدول ۲: آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، نرمال بودن پنج گروه پرسشنامه

ماشین	نیروی انسانی	شرایط کارگاه	برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری	مدیریت	وضع
۰,۱۶۳	۰,۱۲۸	۰,۱۶۳	۰,۱۸۵	۰,۱۴۴	آماره مربع کای
۰,۰۰۲	۰,۰۴۳	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰	۰,۰۱۳	مقدار احتمال
۰,۱۷۰	۰,۱۲۸	۰,۱۴۳	۰,۱۲۴	۰,۱۵۰	آماره مربع کای
۰,۰۰۱	۰,۰۴۳	۰,۰۳۰	۰,۰۵۷	۰,۰۰۷	مقدار احتمال

1. Amos

• تعیین همبستگی بین متغیرها

ضریب همبستگی^۱، آماره‌ای است که جهت اندازه‌گیری قدرت یا درجه یک رابطه‌ی خطی بین دو متغیر به کار می‌رود. همبستگی بین متغیرها به صورت ضریبی نشان داده می‌شود که از ۰ تا +۱ و ۰ تا -۱ تغییر می‌کند. ضریب همبستگی +۱ را ضریب همبستگی کامل مثبت می‌نامند. اگر بین دو متغیر همبستگی مثبت قوی وجود داشته باشد، می‌توان از روی یکی دیگری را پیش‌بینی کرد. به طور کلی دو نوع ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن بین متغیرها تعریف می‌شود (فرید و همکاران، ۱۳۹۳). وجود همبستگی مثبت بین دو متغیر لزوماً بیان‌کننده رابطه علت و معلولی بین آن دو متغیر نیست. بلکه وجود همبستگی بین دو متغیر بدان معناست که بین آن‌ها عوامل مشترکی وجود دارد و یا ممکن است هر دو متغیر، معلول علت واحدی باشند. (شریفی و همکاران، ۱۳۹۴). شکل ۱، رابطه دوجه دو متغیرهای اصلی پژوهش را با یکدیگر در وضع مطلوب و وضع موجود نمایش می‌دهد. در این شکل ضرایبی که در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی‌دار هستند به ترتیب با یک ستاره و دو ستاره مشخص شده‌اند. این روابط دوجه دو بین متغیرها به دلیل اینکه توزیع ما غیر نرمال می‌باشد با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن محاسبه شده‌اند.



شکل ۱- ضریب همبستگی اسپیرمن بین عوامل اصلی

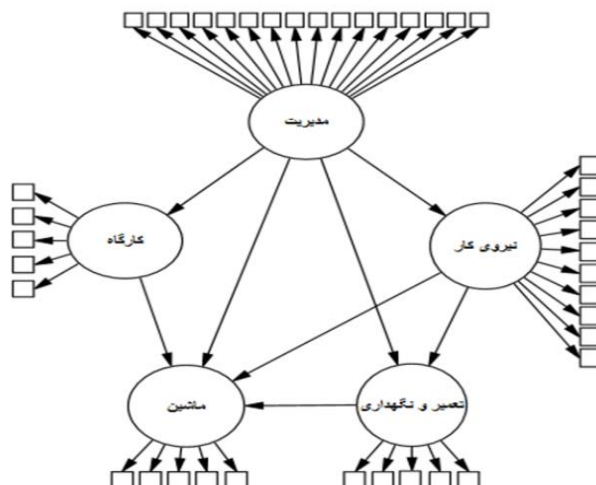
• مدل مفهومی و مدل عملیاتی

در این پژوهش، برای تأیید و اعتبارسنجی نمودارهای علت و معلولی از دو مدل مفهومی و عملیاتی استفاده شده است. مدل مفهومی، مدلی است که محقق روابط بین متغیرها را بر اساس چارچوب نظری تحقیق حدس می‌زند و پیش‌فرض تحلیلی خود قرار می‌دهد. مدل عملیاتی نیز مدلی است که بیشترین میزان تبیین‌کنندگی با واقعیت بیرونی را داشته باشد و لزوماً همان مدل مفهومی نیست بلکه مدل عملیاتی مدلی است که بر اساس روش‌های آماری و توجیه نظری به دست آمده است (رامین مهر و چارستاد، ۱۳۹۴).

1. Correlation Coefficient (r)

مدل مفهومی تحقیق

شکل ۲، مدل مفهومی تحقیق به منظور آزمون فرضیه‌های مطرح‌شده در این تحقیق ترسیم شده است. مدل ترسیم‌شده در صورتی می‌تواند معیاری برای قضاوت و آزمون فرض‌ها قرار بگیرد که برازش مناسبی به داده‌ها داشته باشد. میزان برازش مناسب داده‌ها و به عبارتی حمایت داده‌ها از مدل پیشنهادی با استفاده از شاخص‌های نیکویی برازش مشخص شده است.



شکل ۲: مدل مفهومی تحقیق

پیش از استفاده از معادلات ساختاری برای برازش داده‌ها لازم است صحت این ساختارهای اندازه‌گیری تأیید شوند. این فرایند در متون آماری تحلیل عاملی تأییدی نامیده می‌شود که علاوه بر بررسی قابلیت اطمینان ساختارهای اندازه‌گیری طراحی‌شده می‌تواند به عنوان ابزاری برای تشخیص نارسایی‌ها در ساختار طراحی‌شده برای اندازه‌گیری متغیر غیرقابل مشاهده مورد استفاده واقع شود. در واقع، تحلیل عاملی تأییدی حالت خاصی از مدل‌سازی معادلات ساختاری است.

تحلیل عاملی تأییدی

در تحلیل عاملی تأییدی از قبل یک مدل و تئوری از پیش تعریف‌شده وجود دارد و محقق قصد بررسی این موضوع را دارد که آیا شواهد تجربی (نظر کارشناسان) این تئوری را مورد حمایت قرار می‌دهند یا خیر. در این تحقیق، مدل از پیش تعیین‌شده از طریق ادبیات تحقیق، مصاحبه و توزیع پرسشنامه اولیه در بین کارشناسان پروژه، مطابق شکل ۲، ترسیم‌شد. در تحلیل عاملی تأییدی محدودیت‌هایی را برای مدل در نظر می‌گیریم، تعداد عوامل (متغیرهای پنهان) مشخص است و هدف بررسی ارتباط بین متغیرهای مکنون با متغیرهای مشاهده‌شده (سوالات پرسشنامه) است. این کار از طریق بررسی بارهای عاملی و معناداری آنها (یا بررسی

ضرایب تعیین) بین یک متغیر مکنون و متغیرهای مشاهده‌شده صورت می‌گیرد. هدف اصلی تحلیل عاملی تأییدی، بررسی روایی سازه به طور تجربی است (رامین مهر و چارستاد، ۱۳۹۴).

شاخص‌های برازش تحلیل عاملی تأییدی

شاخص‌های برازش مدل مشخص می‌کند که داده‌های گردآوری‌شده تا چه حد حمایت‌کننده مدلی است که به لحاظ نظری تدوین شده است. در جدول ۳، شاخص‌های نیکویی برازش برای مدل‌های عاملی تأییدی ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر آماره‌های نیکویی برازش مدل‌های عاملی تأییدی

RMSEA	AGFI	GFI	CFI	X ² /df	
۰/۰۰۱	۰/۹۰۵	۰/۹۶۸	۰/۹۹۸	۰/۸۳۷	مدیریت
۰/۰۴۸	۰/۹۴۲	۰/۹۶۱	۰/۹۹۲	۱/۲۲۴	برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری
۰/۰۴۳	۰/۹۱۸	۰/۹۶۵	۰/۹۹۳	۱/۱۸۸	شرایط کارگاه
۰/۰۰۱	۰/۹۰۵	۰/۹۶۸	۰/۹۹۸	۰/۸۳۷	عملکرد ماشین‌آلات
۰/۰۴۵	۰/۹۰۳	۰/۹۵۵	۰/۹۹۱	۱/۵۲۲	نیروی انسانی
۰/۰۵<	۰/۹>	۰/۹>	۰/۹>	۳<	مقدار مطلوب

در جدول ۳، شاخص‌های نیکویی برازش این مدل که به وسیله آماره‌های AGFI، GFI، RMSEA و CFI مورد بررسی قرار گرفته است، مشاهده می‌شود. سطر پایین این جدول محدوده مورد انتظار برای یک مدل با برازندگی قابل قبول را نمایش می‌دهد که از مقاله شوماکر و لوماکس^۱ استخراج شده است (شوماکر و لوماکس، ۲۰۰۴).

مدل‌سازی مدل مفهومی تحقیق به روش معادلات ساختاری^۲ (مدل عملیاتی تحقیق)

به طور کلی، می‌توان گفت روش مدل‌سازی معادلات ساختاری یکی از روش‌های اصلی و جدید برای حل مدل‌های پیچیده با روابط علت و معلولی در علوم اجتماعی است که به پژوهشگر امکان می‌دهد، تأثیرات هم‌زمان متغیرها را بر یکدیگر با تأکید بر نقش خطاهای اندازه‌گیری نشان دهد. هدف معادلات ساختاری بررسی روابط میان متغیرهای مکنون و مدل ساختاری روابط است. در این روش، داده‌ها به صورت ماتریس‌های کوواریانس یا همبستگی درآمده و یک مجموعه معادلات رگرسیون بین متغیرها تدوین می‌شود (رامین مهر و چارستاد، ۱۳۹۴). پس از حصول اطمینان از صحت مدل‌های طراحی‌شده برای اندازه‌گیری متغیرهای پنهان در بخش قبل، مدل مفهومی ترسیم‌شده در شکل ۲، با استفاده از نرم‌افزار ایموس^۳ در دو

1. Schumacker & Lomax
2. Structural Equation Modeling (SEM)
3. Amos

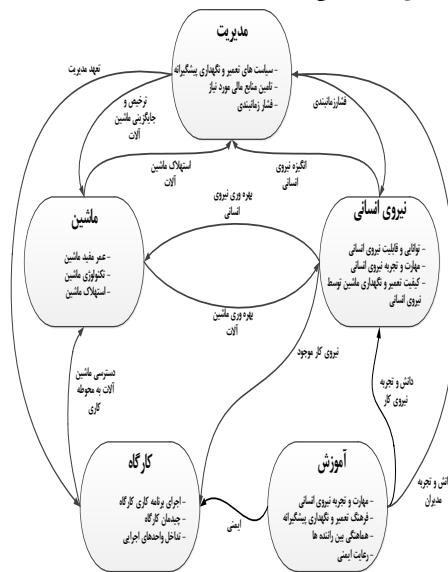
وضع مطلوب و وضع موجود به طور جداگانه به داده‌ها برازش داده شد. جدول ۴، شاخص‌های نیکویی برازش هر یک از این دو مدل را نمایش می‌دهد که حاکی از برازش مناسب مدل به داده‌هاست.

جدول ۴: شاخص‌های نیکویی برازش برای مدل‌سازی معادلات ساختاری

RMSE	AGFI	GFI	CFI	χ^2/df	
۰/۰۱	۰/۹۴۲	۰/۹۶۸	۰/۹۹۸	۰/۸۳۷	وضع مطلوب
۰/۰۴۳	۰/۹۴۰	۰/۹۵۰	۰/۹۹۱	۰/۸۳۰	وضع موجود
۰/۰۵<	۰/۹>	۰/۹>	۰/۹>	۳/۰<	مقدار مطلوب

زیرسیستم‌های علت و معلولی

نمودار زیرسیستم، معماری کلی مدل را نشان می‌دهد. برای انتقال ساختار سلسله‌مراتبی مدل‌های بزرگ می‌توان از چندین نمودار زیرسیستم استفاده کرد (استرمن، ۲۰۰۰). ساختار یک سیستم در متدولوژی پویایی‌های سیستم به وسیله حلقه‌های علت و معلولی ارائه می‌شود. ویژگی‌های پویایی سیستم زمانی آشکار می‌شود که روابط علت و معلولی متعدد و درهم‌تنیده با یکدیگر آمیخته شوند و حلقه‌های بسته چرخشی را شکل دهند (تریتی و همکاران، ۱۳۹۴). پس از نتایج تحلیل آماری، تحلیل عاملی و معادلات ساختاری به این نتیجه رسیدیم که زیرسیستم‌های اصلی علت و معلولی مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات را می‌بایست به ۵ زیرسیستم علت و معلولی، مدیریت، نیروی انسانی، ماشین، کارگاه و آموزش طبقه‌بندی کرد. نحوه ارتباط هر یک از زیرسیستم‌های کلی در شکل ۳ نمایش داده شده است:



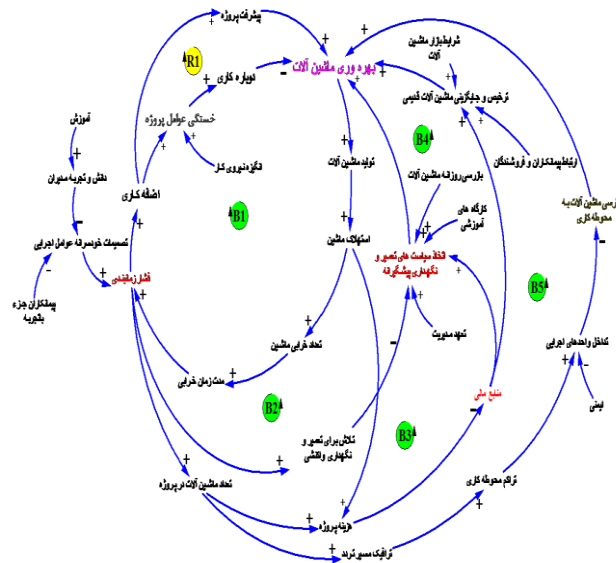
شکل ۳: نمودار زیرسیستم مدل مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات ساخت

همان‌طور که ملاحظه کردید، تنها تفاوت زیرسیستم کلی علت و معلولی تأییدشده، قبل از انجام تحلیل‌های صحت‌سنجی و پس از آن، جا به جایی زیرسیستم برنامه‌ریزی و تعمیر و نگهداری با آموزش است. دلایل اصلی این جا به جایی در نتایج اثرات مستقیم، غیرمستقیم و کل هر یک از متغیرهای توضیحی بر متغیرهای پاسخ در دو وضعیت مدل معادلات ساختاری بود. همچنین با توجه به نظر عوامل پروژه دلیل دیگر این جا به جایی و حذف تعمیر و نگهداری از زیرسیستم‌های اصلی علت و معلولی، نشئت گرفتن مستقیم این زیرسیستم از زیرسیستم نیروی انسانی است. با توجه به اینکه مقوله تعمیر و نگهداری از نیروی انسانی نشئت می‌گیرد، به‌ویژه اگر نیروی انسانی در اینجا، مکانیک ماشین باشد که به صورت مستقیم به اقدامات تعمیر و نگهداری می‌پردازد. حالا چرا آموزش به عنوان یک زیرسیستم علت و معلولی معرفی شد؟

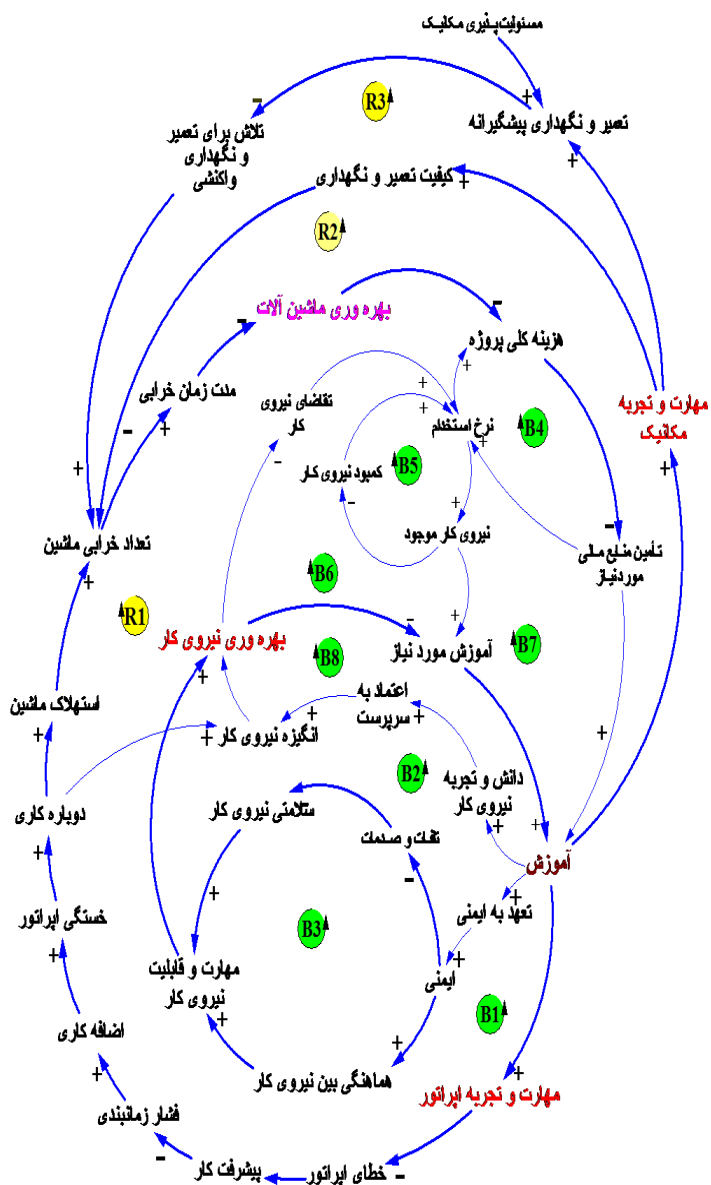
به دلیل اینکه عدم آموزش مناسب نیروی انسانی و مدیران و کادرهای اجرایی، با توجه به توزیع پرسشنامه و مصاحبه با عوامل پروژه، دلیل اصلی نبود، بهره‌وری بالای ماشین‌آلات گزارش شد. طبق تحلیل آماری از نظر عوامل پروژه، آموزش اپراتور و مکانیک بیشترین میزان اهمیت را در دو وضعیت مطلوب از نظر کارشناسان و وضعیت موجود در کارگاه‌های عمرانی به خود اختصاص داده است.

نمودارهای علت و معلولی تحقیق

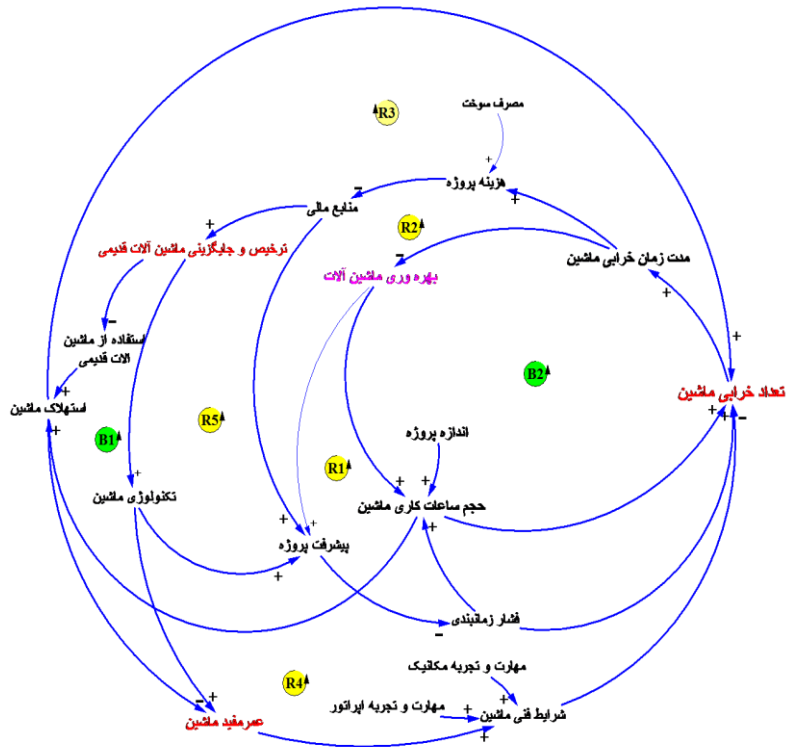
در ادامه برای چگونگی ارتباط بین متغیرها و ارائه چارچوب برای مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات با ۵ نمودار علت و معلولی همانند شکل‌های زیر ترسیم شد (شکل ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸)



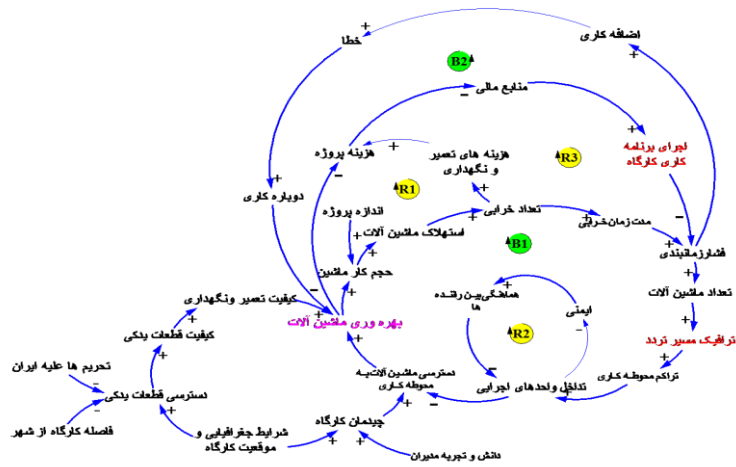
شکل ۴: زیرسیستم مدیریت



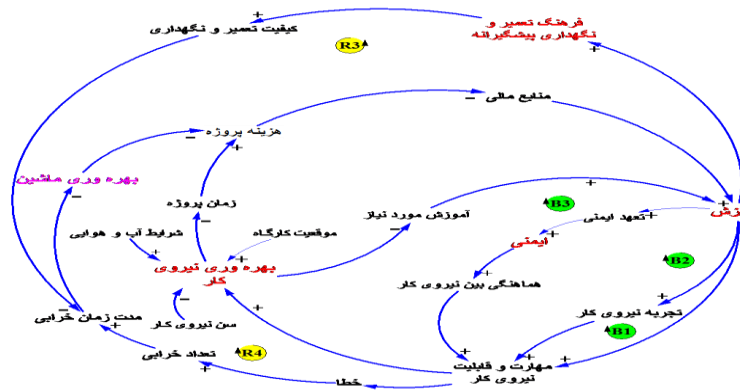
شکل ۵: زیرسیستم نیروی انسانی



شکل ۶: زیرسیستم ماشین



شکل ۷: زیرسیستم کارگاه



شکل ۸: زیرسیستم آموزش

نتیجه‌گیری

ارائه یک چارچوب مفهومی برای توسعه مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات هدف اصلی این مقاله بوده است؛ بنابراین، در این تحقیق، با توجه به اینکه مقوله بهره‌وری ماشین‌آلات یک پدیده پویاست که با گذر زمان دچار تغییر و تحول می‌شود و با توجه به تعدد عوامل مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات، تعامل و اثر تقابل هر یک از عوامل بر یکدیگر، متغیر بودن عوامل در طی زمان و درک ساختار پیچیده سیستم حاکم بر مدیریت ماشین‌آلات، از ابزار پویایی سیستم به منظور درک و ارزیابی بهره‌وری ماشین‌آلات استفاده شد. در این پژوهش، برای تأیید روابط بین متغیرهای علت و معلولی به‌دست‌آمده از چارچوب نظری تحقیق (پیشینه تحقیق، پرسشنامه اولیه و مصاحبه) از تحلیل آماری، تحلیل عاملی تأییدی و معادلات ساختاری استفاده شد. با تحقیقات میدانی و نتایج تجزیه و تحلیلی که انجام دادیم، ملاحظه کردیم که پروژه‌های اجرایی ما با حالت مطلوب بهره‌وری ماشین‌آلات فاصله زیادی دارند. اگر در آینده به این عوامل کاهش بهره‌وری توجه کافی نشود، پروژه‌های عمرانی ما دچار عواقب کاهش بهره‌وری شدیدتری می‌شوند که می‌توانند به‌راحتی موجب شکست، افزایش هزینه، زمان و تأخیرات بلندمدت ناشی از خرابی ماشین‌آلات شوند. همچنین مشاهده شد که این اختلاف بین وضع موجود و وضع مطلوب در نظر کارفرما، پیمانکار و مشاور در پروژه‌های عمرانی یکسان نیست. به نظر می‌رسد که کارفرما و مشاوران از دیدگاه نزدیک‌تری به هم برخوردار باشند و پیمانکاران وضع موجود را نسبت به وضع مطلوب بدتر ارزیابی کرده‌اند.

بیشترین میزان اختلاف بین وضع موجود و مطلوب در گروه مدیریت پروژه مربوط به ارتباط قوی بین پیمانکاران و فروشندگان ماشین‌آلات است. از دیدگاه عوامل پروژه، علت اصلی استفاده از ماشین‌آلات قدیمی و عدم ترخیص و جایگزینی ماشین‌آلات قدیمی در پروژه‌ها، عدم ارتباط قوی بین پیمانکاران و فروشندگان بوده است.

در شاخص اختلاف میزان اهمیت مؤلفه‌های نیروی انسانی در وضعیت موجود و مطلوب، بیشترین اختلاف بین دو وضعیت از نظر عوامل پروژه، در آموزش اپراتور و مکانیک است. این نشان می‌دهد که در پروژه‌های ما به آموزش نیروی انسانی اهمیت کمی داده می‌شود. این عدم اهمیت به آموزش منجر به دوباره‌کاری، تأخیر در انجام پروژه در اثر اشتباه کاری، ایجاد حادثه در اثر عدم مقررات ایمنی مناسب و کاهش بهره‌وری ماشین‌آلات می‌شود. به دلیل اهمیت بالای آموزش در بهره‌وری ماشین‌آلات، این عامل را به عنوان یک زیرسیستم کلی در نمودار علت و معلولی ارائه کردیم و اثرات مهم آن در حلقه‌های علی بهره‌وری ماشین‌آلات و بهره‌وری نیروی انسانی لحاظ شد.

در شاخص میزان اهمیت مؤلفه‌های شرایط کارگاه از دیدگاه عوامل پروژه، بیشترین میزان اختلاف در بین وضعیت مطلوب و موجود مربوط به داشتن برنامه کاری کارگاه بود. عوامل پروژه معتقد بودند که داشتن برنامه کاری کارگاه در پروژه‌های ما بیشتر نقش نمادین را دارد. همان‌طور هم که در تجزیه و تحلیل مشاهده کردید، عوامل پروژه تصور می‌کردند که شرایط کارگاه به صورت غیرمستقیم می‌تواند بر بهره‌وری ماشین‌آلات تأثیر بگذارد؛ درحالی‌که در پروژه‌های انجام‌شده، این عامل به صورت مستقیم بر بهره‌وری ماشین‌آلات تأثیر می‌گذارد.

به عنوان نتیجه‌گیری نهایی می‌توان بیان داشت که مدیریت ماشین‌آلات و افزایش بهره‌وری آن در پروژه‌های عمرانی با تلاش همه مردم، همه سازمان‌ها و عوامل پروژه (کارفرما، پیمانکار و مشاور) امکان‌پذیر خواهد بود. رشد بهره‌وری ماشین‌آلات کاری نیست که با دستور از بالا امکان‌پذیر باشد. هدف ما این است که بتوانیم با حداکثر استفاده از ماشین‌آلات به روش‌های علمی به‌گونه‌ای عمل کنیم که با شناسایی عوامل مؤثر بر بهره‌وری ماشین‌آلات و با توجه به نقش افزایش بهره‌وری بر عملکرد پروژه‌ها، بیشترین خروجی را به ازای هر ساعت کارکرد از ماشین‌آلات دریافت کنیم. طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق، مشخص شد که ۵ عامل: نحوه مدیریت و اتخاذ سیاست‌های مدیران، عملکرد فنی ماشین‌ها، شرایط کارگاه، نیروی انسانی و آموزش، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات در پروژه‌های عمرانی است. بنابراین، برای مشخص ساختن رابطه علت و معلولی بین متغیرها و پیاده‌سازی نتایج پایانی برای ارائه یک چارچوب مفهومی در مدیریت بهره‌وری ماشین‌آلات از نمودارهای علت و معلولی برای درک بهتر مفاهیم آن استفاده کردیم. همچنین برای تأیید نمودارهای علت و معلولی از تحلیل‌های آماری، تحلیل عاملی، معادلات ساختاری استفاده شد.

منابع

- R.Alavi., &M.Mortaheb.(1387). Investigating the Productivity of Machines in the Construction of Earthen Dams, Zanjan, Second National Conference on Dam Construction, Zanjan University, 1388. (in Persian)
- P.Naderi,A.Forsatkar,M., &Khanzadi.(1387). Optimal choice of machinery fleet, strategic decision of soil operations projects, Tehran, First International Conference on Strategic Project Management, Sharif University. (in Persian)
- Sh.Taheri .(1393).Productivity and its Analysis in Organizations (Total Productivity Management), Tehran, Hestan Publications.
- M.H.Sabt., & V.Shah hoseini.(1385). Applying technology management models for evaluate construction machinery, Tehran, 7th International Congress on Civil Engineering, Amirkabir University.
- John D. Sterman. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, Publisher: McGraw-Hill Education; HAR/CDR edition, ISBN-10: 9780072389159.
- T. Prasertrunguang, T., hadikusumo, B.H.W.(2008). System dynamics modelling of machine downtime for small to medium highway contractors". Emerald, Engineering, Construction and Architectural management, Vol.15 No.6.
- Prasertrunguang, T., hadikusumo, B.H.W.(2009a). Modeling the Dynamics of Heavy Equipment management practices and Dawntime in Large Highway contractors". Journal of construction engineering and management, ASCE.
- Nepal, p.M., park, M.(2004). "Downtime model development for construction equipment management". Emerald, Engineering, Construction and Architectural management, volume 11. Number 3
- Prasertrunguang,T.,hadikusumo,B.H.W.(2007).Heavy equipment management practices and problems in thai highway contractors".Emerald, Engineering, Construction and Architectural management, vol.14 No 3.
- Prasertrunguang,T., hadikusumo, B.H.W.(2009b). Study of Factors influencing the efficient management and Downtime consequences of Highway Construction Equipment in Thailand". journal of construction Engineering and Management,ASCE.
- AS.Nahri., & M. Kardan, .(1392). Construction and Road Construction Machinery, Tehran, Publisher: simaye danesh. (in Persian)
- J.Siddharth, j., & j. Pitroda.,(2015).A critical literature review on comparative Analysis of construction Equipments – Rent and Buy. Journal of International academic research for multidisciplinary, volume No.02. Issue No.12.
- H.Naiebi, .(1394). Survey in Social Research, Publisher:Ney. (in Persian)
- H. Raminmehr,P.Charestad, .(1394). Quantitative Research Method Using Structural Equation Modeling(EQM), Tehran, Publisher: Termeh.
- A.Farbod,B,Oladi, & N. Abasi.,(1393).Questionnaire data analysis using Spss software, Tehran, Publisher: Abed. (in Persian)

- P.Sharifi,N, Sharifi,.(1394). Research Methods in Behavioral Sciences, Tehran, Publisher: Sokhan. (in Persian)
- R. Schumacker, R., Lomax, R. (2004). *A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling". 2nd Ed.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- A.Torbati,M. Arsanjani, & M. Firozshahi,.(2004). Developing a Supply Chain Management Strategy Map by Integrating Causal Loop Diagrams(CLD) and Balanced Score card (BSC),Semnan, Journal of Modeling in Engineering, Thirteenth Year, No. 42.