Archive of SID

مهندسی عمران شریف، پاییز (۱۳۹۹)
دوره‌ی ۲ - ۳۶، شماره‌ی ۳/۱، ص. ۲۹-۴۲

Original Article

تحلیل عوامل مؤثر بر بهره‌وری منابع انسانی در سازمان‌های پروژه‌محور با رویکرد سیستم‌های پویا

مجید پرچمی‌جلال * (دانشیار)
اسماعیل امینی‌زاده (دانشجوی کارشناسی ارشد)
گروه مدیریت پروژه، دانشکده‌ی معماری، دانشگاه تهران

رشد و بلوغ سازمان‌های پروژه‌محور در گرو موفقیت پروژه‌هاست و موفقیت پروژه‌ها به بهره‌وری منابع بستگی دارد. بهره‌وری متغیری پویاست و بسته به شرایط پروژه و تصمیمات مدیریتی در طول پروژه، تغییر می‌کند. این مقاله عوامل مؤثر بر بهره‌وری در سطح پروژه را بررسی می‌کند. عوامل مؤثر بر بهره‌وری و روابط پیچیده با مطالعات میدانی و کتابخانه‌یی شناسایی و سپس با استفاده از سیستم‌های پویا مدل شدند. پس از ایجاد ساختار، عوامل مؤثر بر بهره‌وری در سطح پروژه در ۵ دسته‌ی کلی شامل: کارایی مدیریت پروژه، ایمنی کارگاهی، سیاست‌های منابع انسانی، سیاست‌های انگیزشی و سیاست‌های کیفیتی گروه‌بندی و آنالیز شدند. ارزیابی نتایج پیاده‌سازی سیستم پویا روی یک پروژه‌ی واقعی نشان داد که مدیریت پروژه جهت افزایش بهره‌وری در سطح سازمان‌های پروژه‌محور، بیشترین تأثیر را دارد.

واژگان کلیدی: بهره‌وری، پویایی سیستم، منابع انسانی، سازمان‌های پروژه‌محور، پروژه‌های ساخت.

parchamijalal@ut.ac.ir
aminizadeh@ut.ac.ir

۱. مقدمه

منابع انسانی، نقش بسیار زیادی در مراحل عمر پروژه دارند. در واقع پروژه‌ها توسط انسان‌ها خلق، اجرا و بهره‌برداری می‌شوند، بنابراین انسان‌ها در پروژه‌ها نقش بسیار عمده‌یی دارند. مدیریت مؤثر منابع انسانی در سازمان‌های پروژه‌محور نقش عمدیی در موفقیت سازمان و پروژه دارد.[۱]

هزینه‌های نیروی انسانی در پروژه‌های ساخت با تعداد نیروی انسانی زیاد، حدود ۳۰-۵۰ درصد از کل هزینه‌های پروژه است.[۲ و ۳] در پروژه‌های عظیم با تعداد کارگران زیاد، محدوده‌ی سود پروژه عموماً بین ۲ تا ۳ درصد از کل هزینه‌های پروژه است. با این که هزینه‌های نیروی انسانی نسبت به موارد دیگر مانند مصالح و تجهیزات دارای تغییر و ریسک بیشتری است ولی با مدیریت مناسب می‌توان هزینه‌های این بخش از پروژه را کاهش داد. دستیابی به سطح مطلوبی از بهره‌وری، در موفقیت سازمان تأثیرگذار است. بهره‌وری پایین یا بالا در پروژه‌ی ساخت نتیجه‌ی متغیر یا یک عامل نیست بلکه مجموعه‌یی از عوامل با هم در تعامل‌اند تا نتیجه‌ی نهایی حاصل شود. چنین پیچیدگی نیازمند مطالعه‌ی جامع عوامل به منظور درک تک‌تک عوامل و تعاملات مابین آنهاست.[۳]

مقالات زیادی در زمینه‌ی بهره‌وری وجود دارد، اما بسیاری از آنها به تعامل و اثرات عوامل نمی‌پردازند. در این بین تعداد معدودی از مقالات، نسبت به بهره‌وری دید سیستمی دارند، این مقاله‌ها، بهره‌وری را در سطح فعالیت بررسی و ارزیابی می‌کنند و به ارزیابی آن در سطح سازمان نمی‌پردازند. نوشتار حاضر به عوامل مؤثر بر بهره‌وری در سطح سازمان پروژه می‌پردازد. ارزیابی بهره‌وری در سطح سازمان پروژه، رفتار سازمان‌های پروژه‌محور را در قبال عوامل افزایش‌دهنده یا کاهنده‌ی بهره‌وری نشان می‌دهد. این مقاله بهره‌وری را در سطح سازمان‌های پروژه‌محور نشان می‌دهد و به این سازمان‌ها کمک می‌کند تا بهترین سیاست‌ها را جهت افزایش بهره‌وری و در نهایت سود بیشتر اتخاذ کنند.

۲. مرور ادبیات

مرور ادبیات تحقیق به چهار قسمت اصلی تقسیم شد:

۱. مطالعات مربوط به بهره‌وری منابع انسانی؛
۲. مطالعات مربوط به روابط علّی و معلولی و تأثیرگذاری روابط بر یکدیگر؛
۳. مطالعات مربوط به مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم ساخت و پیش‌بینی بهره‌وری؛
۴. سیستم.

۱.۲. عوامل مؤثر بر بهره‌وری منابع انسانی

مقالات زیادی در مورد عوامل مؤثر بر بهره‌وری ارائه شده است، ولی در نوشتار حاضر فقط به تعدادی از جدیدترین مطالعات اشاره می‌شود. ادنان و همکاران (۲۰۰۷)

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۹/۱۳، اصلاحیه ۱۳۹۸/۲/۱، پذیرش ۱۳۹۸/۵/۵.
DOI:10.24200/J30.2019.51433.2407

www.SID.ir

Archive of SID

عوامل مؤثر بر بهره‌وری را در گروه‌های نیروی کار، مدیریت نیروی کار، محرک‌های انگیزشی، ساعت کاری، ابزار و مواد، نیروهای فنی، پروژه، ایمنی، کیفیت و عوامل بیرونی دسته‌بندی کردند.[۴] سوهام و همکاران (۲۰۱۳) عوامل مؤثر بر بهره‌وری را در چهار دسته‌ی کلی شامل عوامل فنی، منابع انسانی، مدیریت و عوامل بیرونی دسته‌بندی کردند.[۲] عوامل زیادی توسط آبسالوم و همکاران (۲۰۱۴) شناسایی و دسته‌بندی شد؛ با رتبه‌بندی آنها مشخص شد که عوامل اصلی به ترتیب عبارت‌اند از: کمبود مهارت نیروی کار، برنامه‌ریزی کار، کارشناسان غیرمتخصص، تأخیر در مواد و مصالح و انگیزش.[۵] شاشنک و همکاران (۲۰۱۴) عوامل مؤثر بر بهره‌وری را در گروه‌های شامل عوامل مرتبط با نیروی کار، مدیریت نیروی کار، عوامل محیطی، انگیزش، مواد و ابزار، ساعت کار نیرو، ایمنی و کیفیت دسته‌بندی کردند.[۶] ناوم (۲۰۱۵) عوامل اصلی مؤثر بر بهره‌وری را شامل: انتخاب مدیر پروژه، تغییرات طراحی، قابلیت ساخت‌پذیری، برنامه‌ریزی پروژه، ارتباطات، مدیریت و روش تدارکاتی، عدم مدیریت مواد و مصالح و عوامل محیطی دانست.[۷] خواهرو و همکاران (۲۰۱۶) عوامل مؤثر بر بهره‌وری را در گروه‌های شامل عوامل مرتبط با نیروی کار، انگیزش نیروی کار، نیروی فنی نامناسب، عوامل مدیریتی، مدیریت مواد و ابزار، ساعت کاری نیروی کار، ایمنی، کیفیت، مدیریت پروژه و عوامل محیطی دسته‌بندی کردند.[۸] ویشال و همکاران (۲۰۱۶) عوامل مؤثر بر بهره‌وری را شامل روانشناسی، تجربه، عوامل بیرونی ـ سرمایه‌یی، عوامل فیزیکی، زمان و بارکاری، مدیریت و ایمنی می‌دانند.[۹]

۲.۲. تأثیر متقابل عوامل مؤثر بر بهره‌وری

توماس و همکاران (۱۹۹۹) در مقاله‌یی به بررسی اثر اقدامات تحویل مصالح و شرایط جوی نامساعد بر بهره‌وری نیروی کار از طریق مطالعه‌ی موردی نصب تیرآهن ساختمانی پرداختند.[۱۰] ویلیام و همکاران (۲۰۰۵) با تحلیل آماری ۱۶۲ پروژه ساخت به بررسی اثر زمان وقوع تغییرات بر بهره‌وری نیروی کار پرداختند.[۱۱] هننا و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های ۸۸ پروژه و به کارگیری روش‌هایی به تحلیل رابطه کمّی ما بین اضافه‌کاری، مدت پروژه و بهره‌وری نیروی کار در پروژه‌هایی پرداختند که اضافه‌کاری تمدید شده داشتند.[۱۲] هننا و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی اثرات تخصیص اضافه‌ی نیروی کار به یک کار خاص بر بهره‌وری کارهای وابسته به نیروی کار پرداختند.[۱۳] هننا و همکاران (۲۰۰۸) همچنین اثر شیفت کار بر بهره‌وری نیروی کار را بررسی کردند.[۱۴] فورد و همکاران (۲۰۰۷) مدل سیستمی عمومی از مدیریت پروژه را ایجاد و در آن اثرات ثانویه ناشی از فشار برنامه‌ریزی و ... را نشان دادند.[۱۵] هان و همکاران (۲۰۱۱) با ارائه‌ی مدل سیستم دینامیکی، اثرات خطاهای طراحی در پروژه‌های ساخت را بررسی کردند.[۱۶] مریجا و همکاران (۲۰۱۴) اثرات بارکاری و تخصیص نامناسب نیروی کار بر بهره‌وری را نشان دادند.[۱۷] لی و همکاران (۲۰۱۵) اثرات گرما و دمای زیاد بر بهره‌وری نیروی کار را بررسی کردند.[۱۸] رابطه‌ی میان اعتماد و بهره‌وری در مطالعه‌ی مارتین و همکاران (۲۰۱۵) نشان داده شده است.[۱۹] زاریا و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر مدیریت مواد و مصالح بر عملکرد پروژه را ارزیابی کردند.[۲۰]

۳.۲. مدل‌های پیش‌بینی بهره‌وری

ابوریزاک و همکاران (۲۰۰۰) با به کارگیری شبکه‌ی عصبی استنتاج احتمالی، به تخمین بهره‌وری نیروی کار مبادرت کردند؛ کاربرد مدل گروه‌بندی شبکه‌ی عصبی احتمالی میزان دقت و عملکرد تخمین آنها را افزایش داد.[۲۱] هالپین با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و منطق فازی به تعریف شاخص تعدیل بهره‌وری (PI) پرداختند. در ادامه‌ی این تحقیق‌ها هالپین (۲۰۰۵) کاربرد شبکه‌ی عصبی در تخمین بهره‌وری، زمان چرخه و هزینه‌ی فرایند شمع‌کوبی را بررسی کرد.[۲۲] در تحقیقی دیگر (۲۰۰۷) بهره‌وری روش‌های نصب و نگهداری زیرساختارها با تکنولوژی بدون نیاز به حفاری، مورد بررسی قرارگرفت. محققین در این مقاله مجدداً از ضریب PI بر اساس AHP و منطق فازی استفاده کردند.[۲۳] سانگ و همکاران (۲۰۰۸) با به کارگیری شبکه‌ی عصبی به پیش‌بینی بهره‌وری فعالیت‌های مرتبط با کارهای بتنی پرداختند.[۲۴] مصلحی و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی‌هاشان از شبیه‌سازی و شبکه‌ی عصبی در تخمین بهره‌وری استفاده کردند.[۲۵]

پارک و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر تصمیمات تهاجمی در رابطه با زمان‌بندی را که منجر به فشار زمان‌بندی می‌شود مطالعه کردند.[۲۶] سعد و همکاران (۲۰۱۰) برای اولین بار در قالب یک مدل و تفکر سیستم به ارزیابی بهره‌وری صنعت ساخت پرداختند.[۲۷] جانگ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل AHP فازی بهره‌وری را شبیه‌سازی و پیش‌بینی کردند.[۲۸] در سال ۲۰۱۳ عوامل مؤثر بر بهره‌وری با استفاده از مدل‌سازی سیستم‌های پویا بررسی و تحلیل کمی آن عوامل ارائه شد.[۳] میرهادی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از شبکه‌ی فازی عصبی بهره‌وری را مدل‌سازی کردند.[۲۹] شباب (۲۰۱۶) از شبکه‌های عصبی با رگرسیون خطی برای مدل‌سازی بهره‌وری استفاده کرد.[۳۰]

۴.۲. پویایی سیستم

مدل‌های پویایی سیستم با استفاده از فرایندهای بازخوردی، درک بهتری از رفتار دینامیکی سیستم‌ها را در طول زمان می‌دهند. تفکر سیستمی بر روابط علّی و معلولی تأکید دارد و این روابط میان اجزای سیستم باید به طورواضح و روان تعریف شود.[۳۱] شبیه‌سازی رایانه‌یی یکی از مهمترین ابزارها برای تحقیقات عملکردی در مدیریت و مهندسی ساختمان است. سیستم دینامیک یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده است که به ما در مدیریت مسایل پیچیده در مدیریت پروژه کمک می‌کند. شبیه‌سازی در دو دهه‌ی پیش ابزار مؤثری برای کنترل و برنامه‌ریزی پروژه بوده است. از سیستم دینامیک می‌توان به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری مدیران پروژه استفاده کرد.[۳۲]

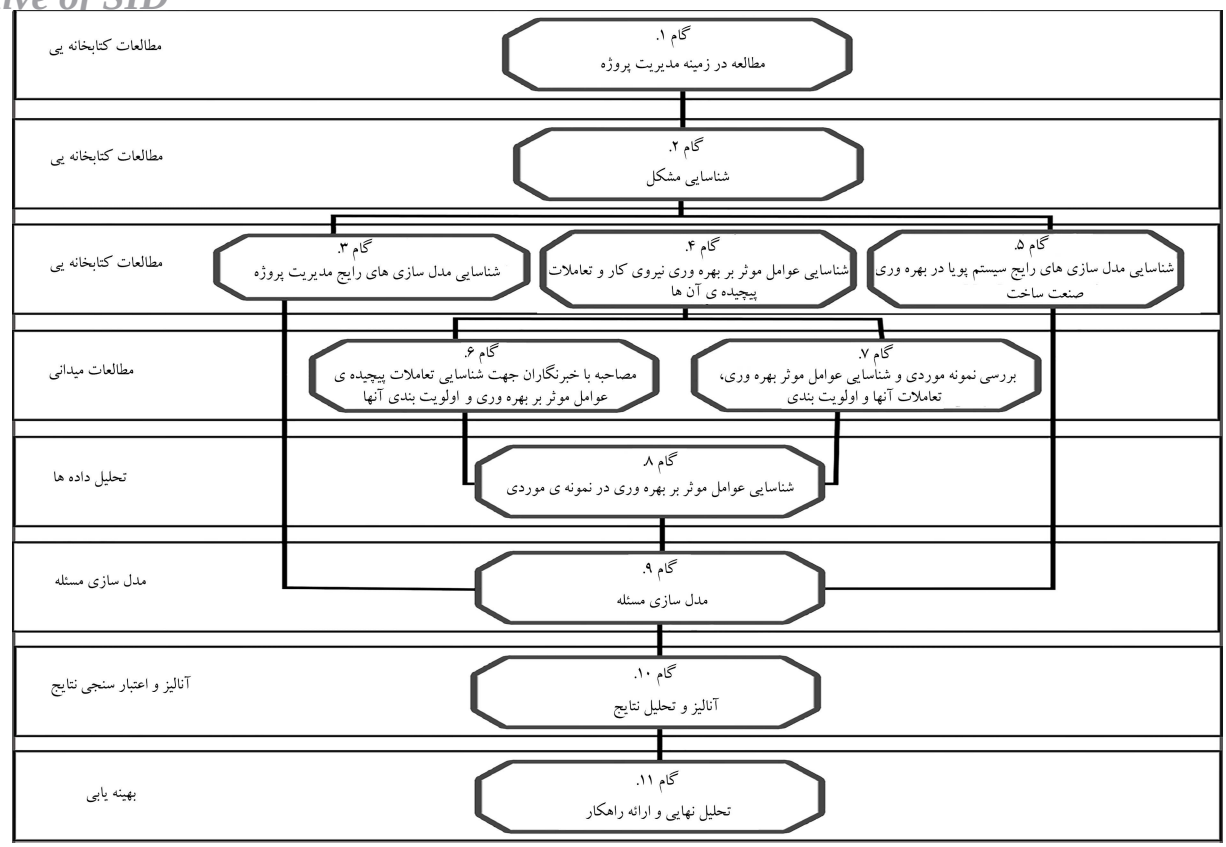
۳. روش تحقیق

۱.۳. فرایند کلی تحقیق

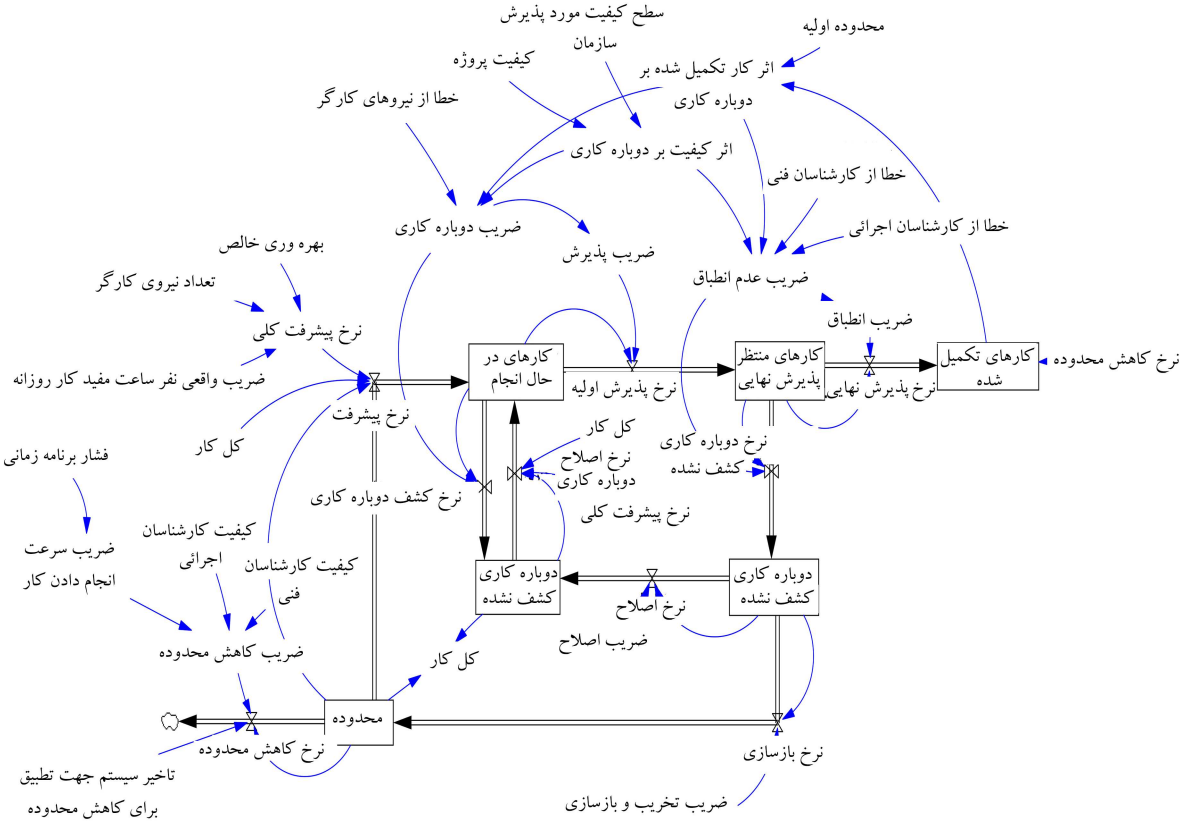
پژوهش حاضر دارای ۸ مرحله‌ی اصلی است شکل ۱ ابتدا در زمینه‌های اصلی مدیریت پروژه مطالعات گسترده‌یی انجام شد و سپس مشکل بهره‌وری منابع انسانی در سازمان‌های پروژه‌محور به عنوان یکی از مشکلات موجود مدیریت پروژه و ۱۲۰ عامل تأثیرگذار در آن شناسایی شد. پس از استخراج این عوامل و با محور قرار دادن مسائل سازمانی و انتخاب و مطالعه‌ی سازمان و پروژه نمونه‌ی موردی و همچنین جمع‌آوری نظر خبرگان به روش گلوله برفی، تعداد ۱۰۰ عامل به عنوان عوامل اصلی مؤثر بر بهره‌وری انتخاب شد. پس از انتخاب عوامل، مدل‌های سیستمی موجود در بهره‌وری نیروی انسانی پروژه‌های صنعت ساخت بررسی شد. در نهایت بر مبنای عوامل موجود و مدل‌های مبنایی مطالعه شده، مدل ارائه شده در این مقاله شکل‌های ۲ تا ۱۲ طراحی و در نهایت شبیه‌سازی و بر اساس اطلاعات پروژه و سازمان، نمونه‌ی موردی آنالیز شد.

www.SID.ir

Archive of SID



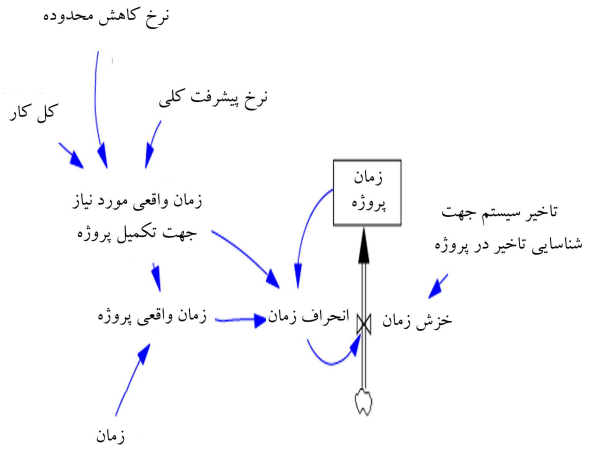
شکل ۱. فرایند و ساختار کلی تحقیق.



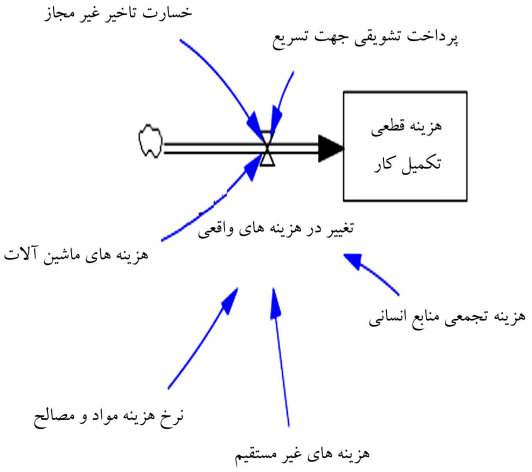
شکل ۲. زیرسیستم محدوده.

www.SID.ir

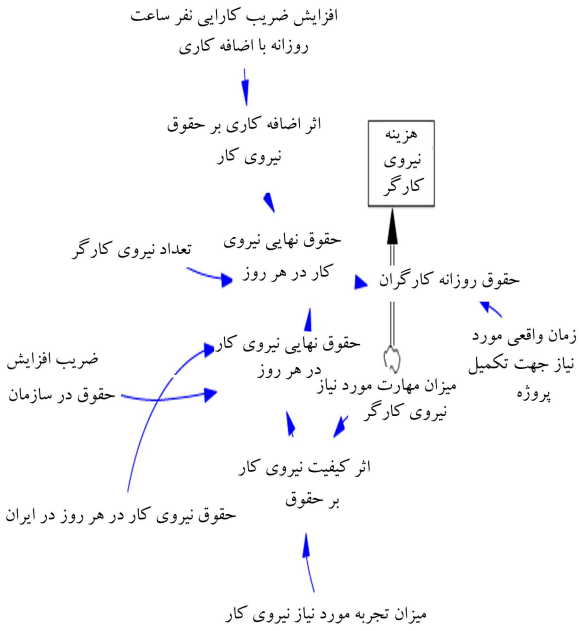
Archive of SID



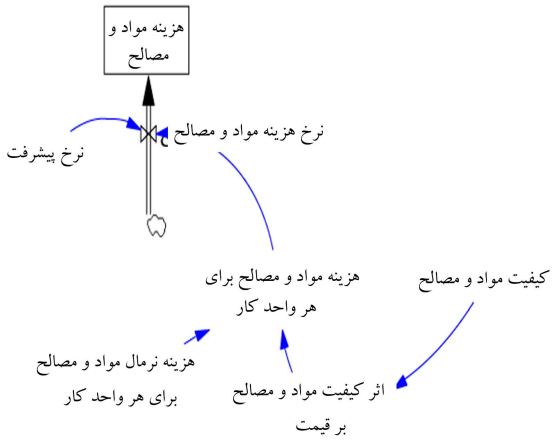
شکل ۳. زیرسیستم زمان.



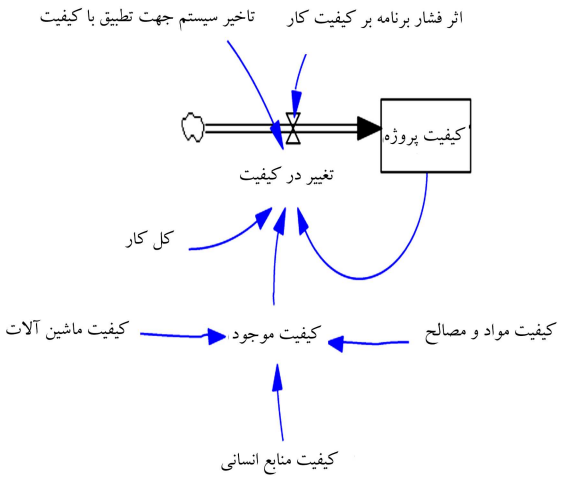
شکل ۴. زیرسیستم هزینه.



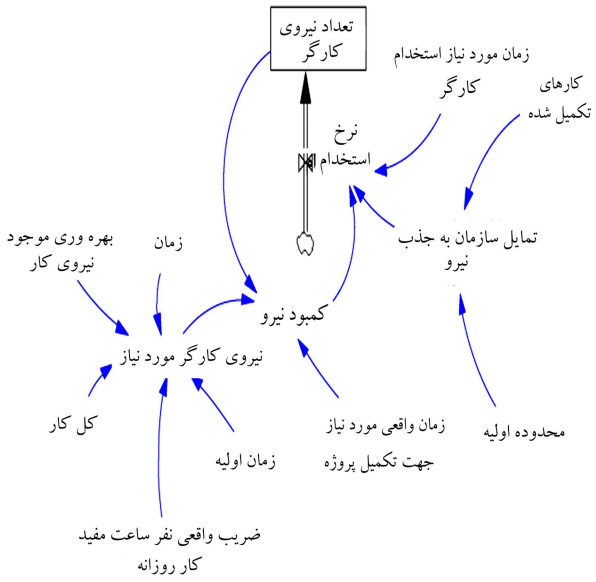
شکل ۵. هزینه‌های منابع انسانی.



شکل ۶. هزینه‌ی مواد و مصالح.



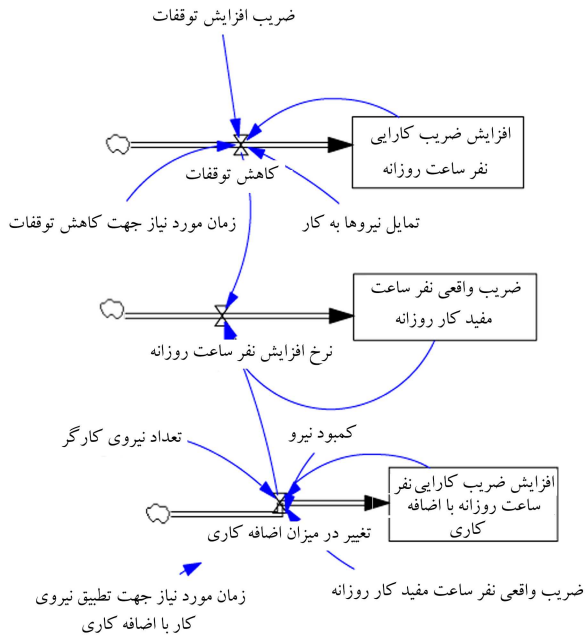
شکل ۷. زیرسیستم کیفیت.



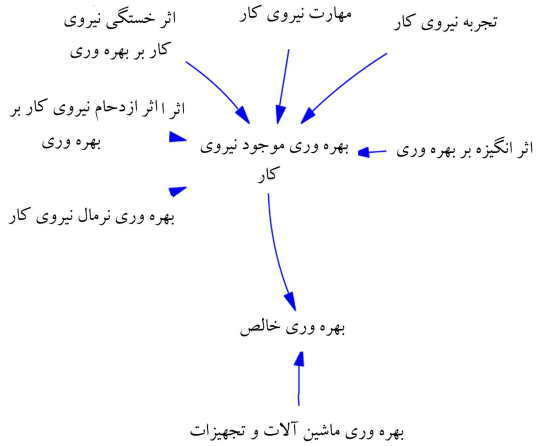
شکل ۸. زیرسیستم نیروی کار مورد نیاز.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹. زیرسیستم کارایی نفر روز.



شکل ۱۰. زیرسیستم عوامل مؤثر بر بهره‌وری نیروی کار.

۲.۳. سازمان پروژه‌ی مورد مطالعه

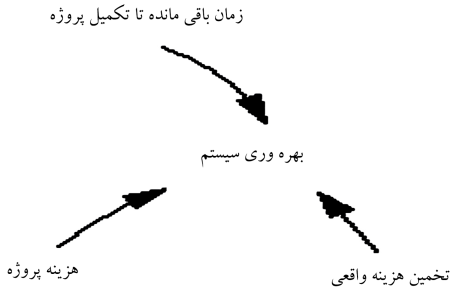
سازمان پروژه‌ی مورد مطالعه در نوشتار حاضر شامل شش بخش است:

- تیم مدیریتی
- کارشناسان فنی
- کارشناسان اجرایی
- نیروهای ایمنی
- نیروهای تدارکات و پشتیبانی
- نیروی کار

در سازمان بررسی شده تناسب تعداد کارکنان هر بخش به تعداد کل کارگران مطابق جدول ۱ است.

مطابق جدول ۱ در سازمان مورد مطالعه به ازای هر ۱۲۰ کارگر یک مدیر، به ازای هر ۱۰ کارگر یک نفر پشتیبان، به ازای هر ۱۰۰ کارگر یک کارشناس فنی، به ازای هر ۴۰ کارگر یک کارشناس ایمنی و در نهایت به ازای هر ۵۰ کارگر یک کارشناس اجرایی مشغول به کار بودند.

شکل ۱۱. زیرسیستم بهره‌وری خالص.



شکل ۱۲. زیرسیستم بهره‌وری سیستم.

جدول ۱. تناسب کارکنان بخش‌های سازمان مورد مطالعه.

بخش	نسبت کارگران به کارکنان
مدیریتی	۱۲۰
پشتیبانی	۱۰
دفتر فنی	۱۰۰
ایمنی	۴۰
تکنسین اجرایی	۵۰

۳.۳. معرفی مختصر مشخصات پروژه‌ی مورد مطالعه

پروژه ایستگاه تقویت فشارگازکوهدشت در منطقه‌ی هلیلان واقع در استان ایلام قرار دارد. این ایستگاه در خط لوله‌ی ششم صادرات گاز ایران به عراق واقع شده است. زمان اولیه‌ی این پروژه ۱۷ ماه و مبلغ اولیه‌ی قرارداد معادل ۳۸٫۰۰۰٫۰۰۰٫۰۰۰ تومان است. نوع قرارداد یک قلم به شکل PC است.

در این مدل بخش کار ساخت و اجرا مدل‌سازی شده است. کار ساخت و اجرا شامل عملیات اجرای خاک‌برداری، راه‌سازی و پیاده‌سازی ساختمان‌های صنعتی و غیرصنعتی است. این بخش به عنوان بخش اصلی مدل‌سازی پروژه است. پروژه بر مبنای این بخش مدل شده است. مقدارکلی کارهای اصلی اجرایی این پروژه مطابق جدول ۲ است:

۴. اصول ساخت مدل پیشنهادی

برای مدل‌سازی مسئله، ابتدا مقالات متناسب با مدل‌سازی مقاله‌ی مورد نظر مطالعه شد (منابع درج شده در جدول ۳) سپس با تحلیل مقالات، مصاحبه با خبرگان

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. مقادیر کارهای اصلی پروژه‌ی مورد مطالعه.

ردیف	شرح فعالیت	مقدار کل
۱	آرماتوربندی	۱۲۰۰ تن
۲	قالب‌بندی	۳۵۰۰۰ مترمربع
۳	بتن‌ریزی	۱۲۰۰۰ مترمکعب
۴	آجرچینی	۶۰۰۰ مترمربع
۵	اجرای سقف	۲۰۰۰ مترمربع
۶	اسکلت فلزی	۴۰۰ تن

جدول ۳. مدل‌های الگو استفاده شده برای ساخت مدل مقاله.

عناصر مدل	مقاله
محدوده	[۳، ۱۵ و ۳۲-۳۵]
خطا و دوباره‌کاری	[۳، ۱۵ و ۱۶، ۳۲-۳۶]
زمان	[۳، ۱۵ و ۳۵]
هزینه	[۳۵ و ۳۷]
کیفیت	[۳۷ و ۳۸]
منابع انسانی	[۳، ۱۵ و ۳۵]
شناسایی روابط علت و معلولی	[۱۴، ۱۷، ۱۵، ۱۹، ۳۳، ۳۵، ۳۹-۴۲]

و بررسی نمونه‌ی موردی، مدل پیشنهادی شامل شکل‌های ۲ تا ۱۲ شکل گرفت. اجزای مدل این پژوهش برگرفته از مدل‌های درج شده در جدول ۳ است ولی تقلید محض از مدل‌های مذکور نبوده بلکه توسعه‌یافته‌ی آنهاست. برتری‌های اصلی این مدل نسبت به مدل‌های اشاره شده در جدول ۳ عبارت است از:

- نسبت به عوامل مؤثر بر بهره‌وری دیدگاه سازمانی دارد
- مفاهیم ارزش کسب شده و جریان نقدینگی در این مدل به صورت شفاف نشان داده شده است.
- ابتدا بهره‌وری و کارایی از هم متمایز شدند و سپس در قالب تحلیل بهره‌وری در سطح سازمان یکپارچه شدند.
- برای بررسی دقیق‌تر، عناصر دیگر پروژه نظیر ماشین‌آلات، مواد و مصالح نیز در نظر گرفته شده است.
- اهداف پروژه شامل محدوده، زمان، هزینه و کیفیت مدل شدند و تعاملات بین آنها نشان داده شده است.
- اثرات عدم تناسب سازمانی و بارکاری به صورت شفاف بیان شده است.
- در نظرگرفتن هم‌زمان عوامل مختلف مؤثر بر بهره‌وری و انعطاف‌پذیری و توانایی انطباق با سایر پروژه‌ها از دیگر مزایای مدل پیشنهادی است.

مدل پیشنهادی دارای ۷ زیرسیستم اصلی است:

۱. زیرسیستم محدوده شکل ۲

۲. زیرسیستم زمان شکل ۳

۳. زیرسیستم هزینه شکل ۴ نشان‌گر زیرسیستم اصلی هزینه و شکل‌های ۵ و ۶ نشان‌گر زیرسیستم‌های فرعی هزینه‌اند.

۴. زیرسیستم کیفیت شکل ۷

۵. زیرسیستم نیروی کار مورد نیاز شکل ۸

۶. زیرسیستم کارایی نفر ـ روز شکل ۹

۷. زیرسیستم بهره‌وری شکل‌های ۱۰ تا ۱۲

در ادامه هر یک از زیرسیستم‌ها بررسی می‌شود.

۱.۴. زیرسیستم محدوده

در زیرسیستم محدوده شکل ۲ مقدار اولیه‌ی محدوده[۱] بر مبنای نقشه‌ها برآورد می‌شود. کارهای معین شده در محدوده با استفاده از نیروی کار، ابزار و ماشین‌آلات انجام می‌شود. کارهای موجود در محدوده براساس نرخ پیشرفت[۲] انجام می‌شود. در هنگام اجرای کار، نیروهای کار ممکن است دچار خطای اجرایی شوند که این خطا توسط کارشناسان فنی و اجرایی شناسایی و در همان زمان اصلاح می‌شود. هنگامی که کار انجام شد، پذیرش اولیه صورت می‌گیرد و سپس به مخزن کارهای منتظر پذیرش نهایی[۳] می‌رود. در پذیرش نهایی، کار انجام شده با الزامات و مشخصات مورد نظر ذی‌نفعان تطابق داده می‌شود. اگر کار انجام شده الزامات ذی‌نفعان را برآورده کند، پذیرش نهایی[۴] می‌شود و اگر الزامات ذی‌نفعان را برآورده نکند، رد و به دوباره‌کاری کشف نشده[۵] ارسال می‌شود. اگر دوباره‌کاری‌ها قابل اصلاح باشند، کار به دوباره‌کاری کشف شده[۶] می‌رود و سپس اصلاح[۷] می‌شود و اگر هم قابل اصلاح نباشد تخریب و بازسازی[۸] می‌شود.

۱.۱.۴. خطا و دوباره‌کاری

دوباره‌کاری و خطا در هر پروژه‌یی وجود دارد. خطاها در این مقاله به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- دوباره‌کاری کشف شده؛
- دوباره‌کاری کشف نشده.

عوامل ایجاد خطا با بررسی مقالات، بررسی پروژه‌ی مورد مطالعه و مصاحبه با خبرگان چنین دسته‌بندی شدند:

- عوامل مرتبط با نیروی کار؛[۳، ۳۴، ۴۳]
- عوامل مرتبط با کیفیت عناصر پروژه، شامل کیفیت ماشین‌آلات، تجهیزات و مواد و مصالح؛[۳۶، ۳۸ و ۴۴]
- پیچیدگی و ابهام پروژه؛[۳۳ و ۳۶]
- کیفیت پایین کارشناسان فنی و اجرایی.[۱۷، ۳۴، ۳۸، ۴۵]

۲.۴. زیرسیستم زمان

مدت زمان اجرا یا تحویل پروژه، مشخصه‌ی دیگر پروژه است. در زیرسیستم زمان مطابق شکل ۳، زمان اولیه‌ی پروژه[۹] زمانی است که در اسناد مناقصه و قرارداد درج شده است. برنامه‌ریزی بر مبنای زمان تحویل پروژه انجام می‌شود. چنان که در شکل ۳ مشاهده می‌شود:

زمان واقعی پروژه[۱۰] = زمان تا کنون[۱۱] +زمان باقی‌مانده تا تکمیل پروژه[۱۲].

$$\text{زمان باقیمانده تا تکمیل پروژه} = \frac{\text{کل کار باقیمانده}}{\text{نرخ تجمعی پیشرفت پروژه}}$$

۳.۴. زیرسیستم هزینه

زیرسیستم هزینه مطابق شکل ۴ بیان می‌دارد که هزینه‌های پروژه[۱۳] شامل هزینه‌ی منابع انسانی[۱۴] شکل ۵، هزینه‌ی ماشین‌آلات و تجهیزات[۱۵]، هزینه‌ی مواد و مصالح[۱۶]

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۶ و هزینه‌های بالاسری[17]، هزینه‌های تأخیر غیرمجاز[18] و پاداش تسریع و ارتقای کیفیت[19] است.

۱.۳.۴. هزینه‌های منابع انسانی (زیرسیستم فرعی هزینه)

هزینه‌ی منابع انسانی شامل هزینه‌ی تمامی نیروهای درگیر در پروژه است. به عنوان نمونه هزینه‌ی هر نیروی کار در روز[20] مطابق شکل ۵، مساوی است با

میانگین حقوق روزانه هر نیرو[21] × اثر کیفیت نیرو بر حقوق نیرو[22] × اثر اضافه‌کاری بر حقوق نیرو[23]

هزینه‌های نیروی کار[24] =مجموع هزینه‌های روزانه نیروی کار در طی پروژه

۲.۳.۴. هزینه‌ی ماشین‌آلات و مواد و مصالح پروژه (زیرسیستم فرعی هزینه)

هزینه‌ی ماشین‌آلات و مواد و مصالح[25] بخشی دیگر از هزینه‌های پروژه است. از آن‌جا که تمرکز اصلی این مقاله بر منابع انسانی است، مواد و مصالح را به عنوان متغیر بیرونی سیستم در نظرگرفته و هزینه‌های ماشین‌آلات و مواد و مصالح به طور کلی بیان شده است مطابق (شکل ۶).

هزینه‌ی مواد و مصالح در هر روز = هزینه‌ی نرمال مواد و مصالح برای هر واحد کار[26] × نرخ پیشرفت کار

۴.۴. کیفیت پروژه

یکی دیگر از مشخصه‌های هر پروژه کیفیت آن است. با بررسی پروژه‌ی موردی و مصاحبه با خبرگان، کیفیت پروژه به کیفیت منابع انسانی شاغل در کارگاه، تجهیزات، ماشین‌آلات و مصالح وابسته است. اگر هرکدام از این عناصر کیفیت خوبی نداشته باشند کیفیت کار پایین می‌آید و در نهایت کار مورد پذیرش قرار نمی‌گیرد و به چرخه‌ی دوباره‌کاری وارد می‌شود؛ همین امر منجر به ایجاد هزینه‌های اضافی می‌شود. در زیرسیستم کیفیت مطابق شکل ۷، کیفیت پروژه[27] مساوی است با میانگین هندسی (کیفیت منابع انسانی[28]، کیفیت ماشین‌آلات[29] و کیفیت مواد و مصالح[30].)

۵.۴. نیروی کار مورد نیاز

در زیرسیستم نیروی کار مورد نیاز مطابق با شکل ۸، تعداد نیروی کار مورد نیاز پروژه[31] بر مبنای سه عامل محدوده، زمان و میانگین بهره‌وری هر فرد معین می‌شود.

$$\text{نیروی کار مورد نیاز} = \frac{\text{کار باقیمانده}}{\text{بهره‌وری} \times \text{زمان باقیمانده}} \quad (۱)$$

در نتیجه:

کمبود نیروی کار[32] = نیروی کار مشاهده شده - تعداد نیروی کار مورد نیاز[33]

نیروی کار مشاهده شده = نیروی کار موجود در سیستم × ضریب کارایی نفر روز مفید هر فرد[34]

۶.۴. زیرسیستم کارایی نفر روز

در زیرسیستم کارایی نفر روز مطابق با شکل ۹، ضریب کارایی نفر روز عبارت است از مقدار ساعت‌های مفیدی که نیروی کار پروژه را انجام می‌دهد به کل ساعاتی که در کارگاه است. بی‌برنامگی و عدم مدیریت نیروی کار باعث افزایش ساعت‌های غیر مفید و باعث کاهش کارایی نفر روز می‌شود. به دو راه می‌توان میزان کارایی نفر روز را افزایش داد:

۱- کاهش توقفات ناشی از عوامل مختلف بر پروژه؛

۲- اضافه‌کاری.

ضریب کارایی نفر روز = مقدار نرمال ضریب کارایی + افزایش ساعت کاری ناشی از اضافه‌کاری[35] +کاهش ساعت کاری توقف نیروی کار[36]

۱.۶.۴ عوامل توقف کار در پروژه

براساس بررسی سازمان نمونه‌ی موردی، مصاحبه با خبرگان و مطالعات کتابخانه‌یی، عوامل توقف ناشی از موارد زیر است:

۱- توقف ناشی از عدم کارایی مدیریت پروژه؛[۳، ۴۱]

۲- توقف ناشی از ایمنی؛[۴۰]

۳- توقف ناشی از عدم مدیریت نیروهای فنی و اجرایی؛[۱۷]

۴- توقف ناشی ازکمبود مواد و مصالح؛[۲۰، ۴۴]

۵- توقف ناشی از اعتصاب.[۱۷]

۲.۶.۴. اضافه‌کاری

اضافه‌کاری در حالتی رخ می‌دهد، که نرخ استخدام نیروی کار پایین است و سیستم مجبور است با افزایش ساعت کاری روزانه کمبود نیرو را جبران کند. اضافه‌کاری باعث خستگی، افزایش هزینه‌های پروژه و افزایش خطاهای نیروی کار می‌شود.[۴۳]

$$\text{نرخ اضافه‌کاری} = \frac{\text{کمبود نیروی کار} \times \text{ضریب کارایی موجود}}{\text{زمان جهت تطبیق اضافه‌کاری} \times \text{کل نیروی کار}}$$

۷.۴. زیرسیستم بهره‌وری

بهره‌وری نیروی کار عبارت است از مقدار کاری که یک فرد در واحد زمان انجام می‌دهد. در مدل پیشنهادی به چهار مفهوم بهره‌وری اشاره شده است:

- بهره‌وری میانگین نیروی کار؛
- بهره‌وری موجود نیروی کار؛
- بهره‌وری خالص؛
- بهره‌وری سیستم (بهره‌وری در سطح سازمان).

۱.۷.۴. بهره‌وری نرمال نیروی کار

بهره‌وری میانگین[37] جزء فرضیات برنامه‌ریزی و مبنای برآورد زمان در اول پروژه است.

۲.۷.۴. بهره‌وری نیروی کار موجود

بهره‌وری نیروی کار طبق وضع موجود در پروژه ممکن است افزایش یا کاهش بیابد. طبق مصاحبه با خبرگان و مطالعات کتابخانه‌یی، مهم‌ترین عوامل افزاینده یا کاهنده‌ی بهره‌وری متناسب با سازمان و پروژه‌ی مورد مطالعه، شناسایی و به شرح زیر دسته‌بندی شد:

۱. خستگی[38] [۱۷، ۱۴، ۱۲ و ۴۳]

۲. مهارت و تجربه‌ی نیروی کار[39] [۸، ۷ و ۴۶]

۳. انگیزش نیروی کار[40] [۱۹، ۴۷ و ۴۱]

۴. ازدحام نیروی کار[41] [۱۳]

عوامل زیادی مانند اثر آب و هوا[۱۸] و غیره بر بهره‌وری نیروی کار تأثیر دارد. عوامل انتخابی بر مبنای سازمان و پروژه‌ی نمونه‌ی موردی بررسی شده و عنوان مقاله انتخاب شد. در زیرسیستم عوامل مؤثر بر بهره‌وری نیروی کار مطابق با شکل ۱۰:

بهره‌وری موجود نیروی کار[42] =بهره‌وری نرمال نیروی کار × اثر عوامل مؤثر بر بهره‌وری

www.SID.ir

Archive of SID

۳.۷.۴. بهره‌وری خالص

در زیرسیستم بهره‌وری خالص مطابق شکل ۱۱، بهره‌وری خالص[۴۳] طبق نظریه‌ی زنجیره‌ی محدودیت[۴۸] با کم‌ترین بهره‌وری عناصر پروژه، شامل بهره‌وری ماشین‌آلات و ابزار[۴۴] و بهره‌وری نیروی کار برابر است.

۴.۷.۴. بهره‌وری سیستم در سطح سازمان پروژه

بهره‌وری سیستم عبارت است از مقدار کار صحیح و بدون خطایی که هر فرد در واحد زمانی انجام می‌دهد و به عبارتی همان بهره‌وری در سطح سازمان پروژه است. برای محاسبه‌ی بهره‌وری سیستم (شکل ۱۲):

$$\text{بهره‌وری سیستم} = \frac{\text{بودجه برنامه‌ریزی شده اتمام کار}}{\text{هزینه نهایی اتمام کار}}$$

تمامی آنالیزهای انجام شده در این مقاله بر مبنای بهره‌وری سیستم است. این آنالیزها رفتار سازمان پروژه‌محور را در مقابل عوامل مؤثر بر بهره‌وری و کارایی نشان می‌دهد.

۵. سناریوهای مدل

در هر پروژه ممکن است سه حالت نسبت به برنامه‌ی زمانی به وجود آید:

۱. پروژه طبق برنامه پیش می‌رود، در نتیجه زمان پروژه مساوی با زمان اولیه است.

۲. پروژه از برنامه‌ی زمانی عقب می‌افتد، در نتیجه زمان پروژه بیشتر از زمان اولیه است.

۳. پروژه از برنامه‌ی زمانی خود پیشی می‌گیرد، در نتیجه زمان پروژه کمتر از زمان اولیه است.

۱.۵. هنگامی که کار بر طبق برنامه است

هنگامی که فرضیات در طی پروژه مانند فرضیات برنامه‌ریزی باشد، پروژه دقیقاً طبق برنامه پیشرفت می‌کند. در این حالت شاخص‌های عملکرد زمان[۴۵] برابر با ۱ است شکل ۱۳ و نیز در این حالت بهره‌وری در سطح سازمان برابر با ۱ است. این حالت نقطه‌ی تعادل سیستم است.

۲.۵. هنگامی که سازمان از برنامه عقب می‌افتد (سناریو ۱ تا ۴)

هنگامی که شرایط محیطی بدتر از فرضیات برنامه‌ریزی مانند بهره‌وری پایین نیروی کار، کارایی نفر ـ روز نیرو پایین، دوباره‌کاری زیاد، کمبود نیروی کار باشد، سازمان از برنامه عقب می‌افتد. اگر سازمان نتواند شرایط محیطی را بهبود بخشد، مجبور است توسط یکی از چهار سناریو زیر برنامه را جبران کند:

۱) سازمان فقط نیرو جذب می‌کند؛

۲) سازمان فقط تعداد ساعت کار روزانه را اضافه می‌کند و نیرو جذب نمی‌کند؛

۳) سازمان هم نیرو جذب می‌کند و هم ساعت کاری را اضافه می‌کند؛

۴) سازمان به دنبال جبران برنامه نیست.

شکل ۱۳. شاخص عملکرد زمان پروژه در نقطه‌ی تعادل.

۳.۵. هنگامی که پروژه زودتر از زمان ممکن تمام می‌شود (سناریوی ۵ و ۶)

هنگامی که شرایط محیطی بهتر از فرضیات برنامه‌ریزی مانند بهره‌وری خالص بیشتر از حد نرمال، کارایی نفر ـ روز بیشتر از حد میانگین فرض برنامه باشد، سازمان می‌تواند پروژه را زودتر از حالت برنامه‌ریزی شده تکمیل کند. در این حالت ۲ سناریو موجود است:

۵) اولویت سازمان همان کار طبق برنامه است؛

۶) سازمان به دنبال انجام کار زودتر از برنامه است.

۴.۵. جمع‌بندی سناریوها

چنان که گفته شد، بهره‌وری متغیری است که بر اساس شرایط محیطی و تصمیمات مدیریتی در طی پروژه تغییر می‌کند. هریک از سناریوهای بالا بهره‌وری متفاوتی دارند. مدیران و تصمیم‌گیرندگان سازمان، باید پیامدهای هریک از انتخاب‌ها را درک کنند و برای افزایش بهره‌وری سیستم و افزایش سود سازمان، نسبت به شرایط متفاوت پروژه‌های سازمان تصمیم‌گیری کنند. در جدول ۴، تفاوت سناریوهای متفاوت ارائه شده است.

۶. تحلیل عوامل مؤثر بر بهره‌وری در سطح سازمان

با بررسی سازمان و پروژه‌ی نمونه‌ی موردی، عوامل کاهنده‌ی بهره‌وری سیستم شامل عوامل کاهنده‌ی بهره‌وری نیروی کار، کارایی نیروی کار و عوامل ایجاد کننده‌ی خطا و دوباره‌کاری شناسایی و در ۵ گروه کلی دسته‌بندی می‌شود. سپس مدل بر مبنای این عوامل تحلیل حساسیت می‌شود:

۱. کارایی مدیریت پروژه؛

۲. کارایی ایمنی کارگاهی؛

۳. مدیریت منابع انسانی؛

۴. انگیزش نیروی کار؛

۵. سیاست‌های افزایش کیفیت عناصر پروژه.

۱.۶. تحلیل اثر کارایی مدیریت پروژه بر بهره‌وری سیستم

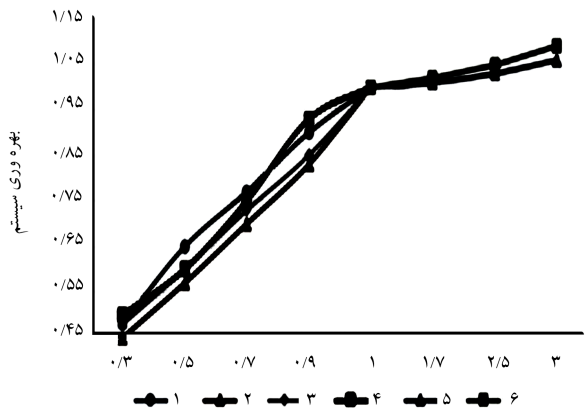
هنگامی که سازمان دارای بلوغ کافی مدیریت پروژه باشد، بنابراین کارایی تیم مدیریت پروژه مطابق با حالت میانگین یعنی ۱ است؛ در نتیجه پروژه دقیقاً مطابق با برنامه پیشرفت می‌کند. این حالت، حالت نرمال و نقطه‌ی تعادل سیستم است. در این حالت بهره‌وری سیستم برابر منحنی ۱ در شکل ۱۴ است.

www.SID.ir

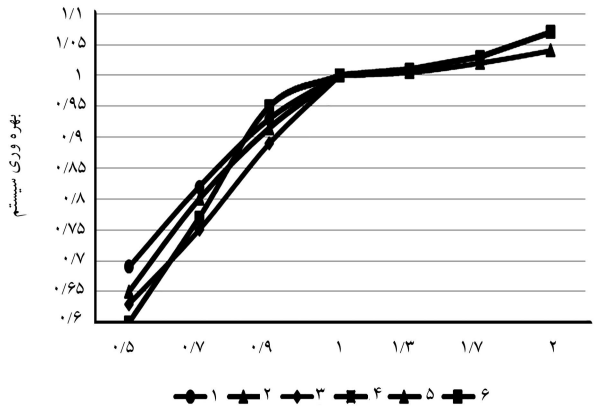
Archive of SID

جدول ۴. مقایسه‌ی سناریوهای مدل.

سناریو/پیامد	ازدحام نیروی کار و تداخل حرفه‌ها	بهم‌خوردن تناسب سازمانی	کمبود نقدینگی	افزایش خستگی نیروی کار	افزایش فشار برنامه‌یی	افزایش دوباره‌کاری	کاهش بهره‌وری نیروی کار	افزایش توقعات پروژه	افزایش تجهیزات نیروی کار	افزایش هزینه‌های غیرمستقیم	افزایش هزینه‌های تأخیر پروژه	پاداش تسریع
۱	زیاد	دارد	میانه	ندارد	کم	میانه	میانه	میانه	زیاد	میانه	کم	ندارد
۲	ندارد	ندارد	زیاد	زیاد	میانه	زیاد	زیاد	زیاد	ندارد	زیاد	میانه	ندارد
۳	میانه	دارد	زیاد	میانه	ندارد	زیاد	زیاد	میانه	میانه	کم	ندارد	ندارد
۴	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	زیاد	زیاد	میانه	کم	ندارد	زیاد	زیاد	ندارد
۵	ندارد	ندارد	کم	کم	ندارد	کم	کم	کم	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
۶	ندارد	ندارد	میانه	کم	ندارد	کم	کم	کم	ندارد	ندارد	ندارد	زیاد



شکل ۱۴. اثر کارایی مدیریت پروژه بر بهره‌وری سیستم با سناریوهای مختلف.



شکل ۱۵. اثر ایمنی کارگاهی بر بهره‌وری سیستم با سناریوهای مختلف.

وقتی که سازمان بلوغ ضعیفی در مدیریت پروژه داشته باشد، مدیران پروژه ضعیف، اعتقاد به برنامه‌ریزی و کنترل پروژه کم، تعداد جلسات تعهدآور کم و سیستم اطلاعاتی مدیریت پروژه ضعیف و تعداد کارکنان مدیریتی کم است؛ در نتیجه کارایی مدیریت پروژه پایین‌تر از حالت نرمال است. وقتی که کارایی مدیریت پروژه پایین باشد، در نتیجه برنامه‌ریزی و کنترل پروژه از بین می‌رود و سردرگمی در اجرای پروژه وجود دارد. بنابراین کارایی نفر ـ روز پایین می‌آید، در نتیجه نرخ واقعی پیشرفت پروژه پایین‌تر از نرخ برنامه‌یی پیشرفت می‌شود. در این حالت سازمان از برنامه عقب می‌افتد و بسته به سیاست‌های جبران برنامه (سناریوی ۱ تا ۴) مطابق با شکل ۱۴، شاخص بهره‌وری سیستم متفاوت است. در بدترین حالت، کارایی پایین مدیریت پروژه می‌تواند ۵۵ درصد هزینه‌ها را افزایش دهد و در نتیجه بهره‌وری سیستم را تا ۵۵ درصد کاهش دهد.

وقتی که سازمان بلوغ قوی در مدیریت پروژه داشته باشد، بنابراین مدیران پروژه قوی، اعتقاد به برنامه‌ریزی و کنترل پروژه زیاد، تعداد جلسات تعهدآور زیاد و سیستم اطلاعاتی مدیریت پروژه قوی وجود دارد؛ در نتیجه کارایی مدیریت پروژه بالاتر از حالت نرمال است. وقتی که کارایی مدیریت پروژه بالا باشد، در نتیجه برنامه‌ریزی و کنترل پروژه به صورت مؤثر وجود دارد و اجرای پروژه با برنامه‌ریزی است. بنابراین کارایی نفر ـ روز بالا می‌رود و نرخ واقعی پیشرفت پروژه بالاتر از نرخ برنامه‌یی پیشرفت می‌شود. در این حالت سازمان از برنامه پیش می‌افتد و بسته به سیاست‌های تسریع پروژه (سناریو ۵ و ۶) مطابق شکل ۱۴، شاخص بهره‌وری سیستم متفاوت است. در بهترین حالت کارایی بالای مدیریت پروژه، می‌تواند ۹ درصد هزینه‌ها را کاهش و در نتیجه بهره‌وری سیستم را تا ۹ درصد افزایش دهد. در شکل ۱۴ نمودار اثر کارایی مدیریت پروژه بر بهره‌وری سیستم بر مبنای سناریوهای متفاوت نشان داده شده است.

۲.۶. تحلیل اثر کارایی ایمنی کارگاهی بر بهره‌وری سیستم

هنگامی که اهمیت ایمنی و فرهنگ کار به صورت ایمن در سازمان به اندازه کافی باشد، کارایی ایمنی به حالت نرمال یعنی ۱ است. در این حالت تعداد حوادث و توقفات ناشی از کار در شرایط پرخطر نرمال است. این حالت تعادل سیستم است و مطابق با شکل ۱۵، بهره‌وری سیستم در این حالت ۱ است.

هنگامی که اهمیت ایمنی و فرهنگ کار به صورت ایمن در سازمان پایین باشد، در چنین شرایطی هزینه‌های ناشی از ایمنی کار پایین می‌آید، ولی از سوی دیگر توقفات ناشی از کار در شرایط پرخطر افزایش می‌یابد، حوادث افزایش می‌یابد، انگیزه‌ی نیروی کار پایین می‌آید، در نتیجه منجر به پایین آمدن کارایی، بهره‌وری نیروی کار می‌شود و در نهایت منجر به عقب ماندن از برنامه‌ی زمانی می‌شود. بهره‌وری سیستم در این شرایط بسته به سناریوی جبران عقب ماندگی برنامه (سناریوی ۱ تا ۴) متفاوت است شکل ۱۴. در بدترین حالت، نبود ایمنی کار می‌تواند ۴۰ درصد هزینه‌ها را افزایش دهد و بهره‌وری سیستم را تا ۴۰ درصد کاهش دهد.

هنگامی که اهمیت ایمنی و فرهنگ کار به صورت ایمن در سازمان بالا باشد، در چنین شرایطی هزینه‌های ناشی از ایمنی کار بالاتر می‌رود، ولی از سوی دیگر توقفات ناشی از کار در شرایط پرخطر کاهش می‌یابد. حوادث کاهش می‌یابد، انگیزه‌ی نیروی کار بالا می‌رود، در نتیجه منجر به بهبود کارایی، بهره‌وری نیروی کار می‌شود و

www.SID.ir

Archive of SID

در نهایت منجر به پیشی گرفتن از برنامه‌ی زمانی می‌شود. بهره‌وری سیستم در این شرایط بسته به سناریوی تسریع برنامه (سناریوی ۵ و ۶) متفاوت است شکل ۱۵. در بهترین حالت، کارایی ایمنی بالا می‌تواند ۵ درصد از هزینه‌ها را کاهش و بهره‌وری سیستم را تا ۵ درصد افزایش دهد. در شکل ۱۵ نمودار اثر کارایی ایمنی کارگاهی بر بهره‌وری سیستم بر مبنای سناریوهای متفاوت نشان داده شده است.

۳.۶. تحلیل سیاست‌های مدیریت منابع انسانی بر بهره‌وری سیستم

این بخش شامل ۲ قسمت تحلیل تأثیر سطح کیفیت نیروی کار و تحلیل تأثیر سطح کیفیت نیروهای فنی و نظارتی بر هزینه‌های پروژه و بهره‌وری سیستم است.

۱.۳.۶. تحلیل تأثیر کیفیت نیروی کار بر بهره‌وری سیستم

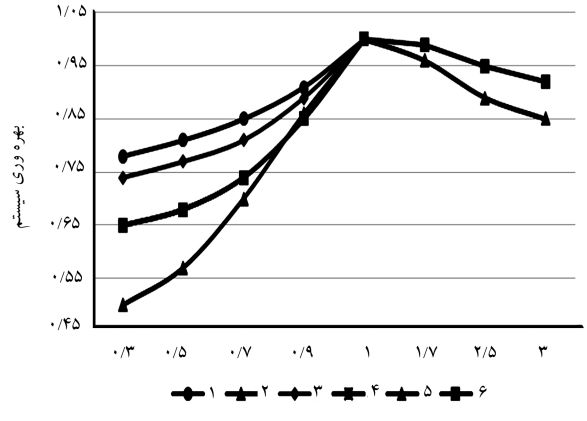
در این بخش تأثیر کیفیت و مهارت نیروهای کار بر بهره‌وری سیستم بررسی می‌شود. هنگامی که سازمان نیروهای کاری خود را متناسب با حد تخصصی بودن پروژه انتخاب کند و تجربه و تخصص نیروی کار جوابگوی نیاز تخصصی پروژه باشد، کیفیت نیروی کار حالت نرمال یعنی ۱ است. در این حالت سیستم در تعادل است و مطابق شکل ۱۶ بهره‌وری سیستم در این حالت ۱ است.

هنگامی که سازمان برای کاهش هزینه‌ها نیروهای کاری خود را پایین‌تر از حد تخصصی بودن پروژه انتخاب کند و تجربه و تخصص نیروی کار جوابگوی نیاز تخصصی پروژه نباشد، بهره‌وری و کیفیت نیروی کار پایین‌تر از حد نرمال است، در نتیجه منجر به افزایش دوباره‌کاری، کاهش بهره‌وری و کارایی می‌شود. در نهایت این امر باعث می‌شود پروژه از زمان‌بندی عقب بیفتد. بهره‌وری سیستم در این شرایط، بسته به سناریوی جبران عقب ماندگی برنامه (سناریوی ۱ تا ۴) متفاوت است (شکل ۱۶). در بدترین حالت، نیروی با کیفیت پایین ۵۲ درصد هزینه‌ها را افزایش و بهره‌وری سیستم را ۵۲ درصد کاهش می‌دهد.

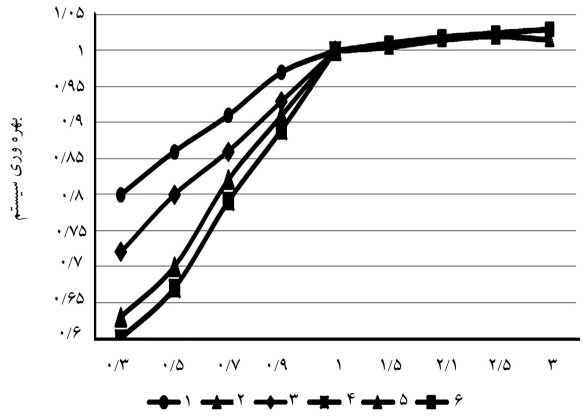
هنگامی که سازمان، برای اجرای با کیفیت پروژه نیروهای کاری خود را بالاتر از حد تخصصی بودن پروژه انتخاب کند و تجربه و تخصص نیروی کار بالاتر از نیاز تخصصی پروژه باشد، بهره‌وری و کیفیت نیروی کار بالاتر از حد نرمال است. این امر منجر به افزایش کیفیت، افزایش بهره‌وری و کارایی می‌شود، از سوی دیگر، استفاده از نیروی با کیفیت بالا، هزینه‌های پروژه را افزایش می‌دهد و منجر به کاهش نقدینگی و اثرات کمبود نقدینگی در پروژه می‌شود. ولی در نهایت اثرات افزاینده بهره‌وری نیروی کار با کیفیت، بالاتر از اثرات کاهنده‌ی بهره‌وری ناشی از کمبود نقدینگی است، در نتیجه پروژه زودتر از برنامه‌ی زمانی تکمیل می‌شود. بهره‌وری سیستم در این شرایط، مطابق با شکل ۱۶، بسته به سناریوی تسریع پروژه (سناریوی ۵ و ۶) متفاوت است. در این حالت افزایش هزینه‌های ناشی از تسریع بالاتر از مزایای تسریع است، در نتیجه هزینه‌های پروژه بالاتر از حالت نرمال است و بهره‌وری سیستم کاهش می‌یابد. مطابق با شکل ۱۶ بهترین حالت، استفاده از نیروی با کیفیتی در حد نیاز تخصصی پروژه است. در شکل ۱۶، نمودار اثر کیفیت نیروی کار بر بهره‌وری سیستم بر مبنای سناریوهای متفاوت نشان داده شده است.

۲.۳.۶. تحلیل تأثیر مهارت و تجربه‌ی کارشناسان فنی و نظارتی بر بهره‌وری سیستم

کارشناسان فنی و نظارتی مسئولیت نظارت بر اجرای کار و مدیریت نیروهای کاری را دارند. هنگامی که سازمان نیروهای فنی و نظارتی خود را متناسب با حد تخصصی بودن پروژه انتخاب کند، کیفیت نیروی فنی و اجرایی حالت نرمال یعنی ۱ است، در این حالت سیستم در تعادل است و بهره‌وری سیستم معادل ۱ است (شکل ۱۷).



شکل ۱۶. اثر کیفیت نیروی کار بر بهره‌وری سیستم با سناریوهای مختلف.



شکل ۱۷. تأثیر کیفیت کارشناس فنی و نظارتی بر بهره‌وری سیستم.

هنگامی که سازمان، برای کاهش هزینه‌ها نیروهای فنی و نظارتی خود را پایین‌تر از حد تخصصی بودن پروژه انتخاب کند و تجربه و تخصص آنها جوابگوی نیاز تخصصی پروژه نباشد، بنابراین آنها نمی‌توانند کارهای پروژه را به درستی پیاده‌سازی کنند یا دوباره‌کاری‌ها را تشخیص دهند، در نتیجه دوباره‌های پروژه افزایش می‌یابد، همچنین نمی‌توانند نیروی کار را مدیریت کنند، بنابراین بهره‌وری و کارایی کاهش و دوباره‌کاری افزایش می‌یابد، در نهایت باعث می‌شود که پروژه از زمان‌بندی عقب بیفتد. بهره‌وری سیستم در این شرایط، مطابق با شکل ۱۷، بسته به سناریوی جبران عقب ماندگی برنامه (سناریوی ۱ تا ۴) متفاوت است. در بدترین حالت، نیروی فنی و نظارتی با کیفیت پایین ۴۰ درصد هزینه‌ها را افزایش و بهره‌وری سیستم را ۴۰ درصد کاهش می‌دهد.

هنگامی که سازمان برای اجرای با کیفیت پروژه کارشناسان فنی و نظارتی خود را بالاتر از حد تخصصی بودن پروژه انتخاب کند و تجربه و تخصص آنها بالاتر از نیاز تخصصی پروژه باشد، کیفیت نظارت بالاتر، زمان شناسایی دوباره‌کاری کمتر و مدیریت نیروی کار بهتر است. همچنین مزیت دیگر استفاده از نیروی اجرایی قوی، بهره‌گیری از مهندسی ارزش (کم کردن محدوده بدون کاهش کیفیت کار) است. استفاده از نیروی اجرایی قوی در نهایت منجر به افزایش کیفیت، افزایش بهره‌وری و کارایی می‌شود و پروژه زودتر از برنامه‌ی زمانی تکمیل می‌شود. بهره‌وری سیستم در این شرایط، بسته به سناریوی تسریع پروژه (سناریوی ۵ و ۶) متفاوت است (شکل ۱۷). در بهترین حالت کارشناس فنی و اجرایی با کیفیت، ۳ درصد هزینه‌ها را کاهش می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

۴.۶. تحلیل عوامل مؤثر انگیزشی بر بهره‌وری سیستم

عواملی مانند افزایش حقوق، افزایش امکانات و تسهیلات، آموزش و عوامل دیگری از این قبیل، عواملی هستند که سازمان برای بهبود آنها باید هزینه انجام دهد. هر چه این عوامل بهبود یابند انگیزه و روحیه‌ی نیرو بهبود می‌یابد؛ در نتیجه عملکرد نیروی کار ارتقا می‌یابد. ولی از سویی هر چه این عوامل افزایش یابند، هزینه‌های پروژه افزایش می‌یابد.

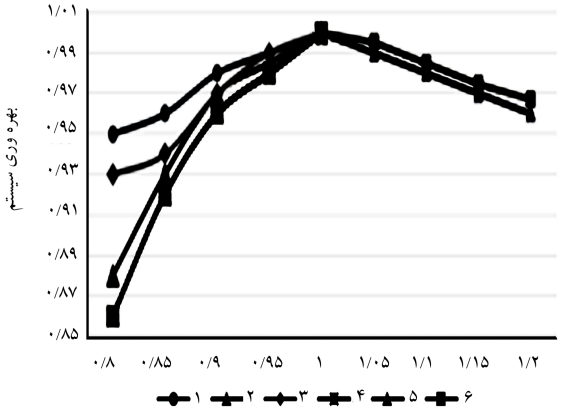
در شکل ۱۸ اثر ضریب حقوق نیروی کار به عنوان نمونه از اثرات انگیزش‌های مالی، بر بهره‌وری سیستم نشان داده شده است. هنگامی که سازمان حقوق نیروی کار خود را متناسب با مسئولیت آنها بدهد، ضریب حقوق معادل ۱ است و این حالت تعادل سیستم است؛ مطابق شکل ۱۸ بهره‌وری سیستم در این حالت برابر با ۱ است.

هنگامی که سازمان برای کاهش هزینه‌ها، حقوق نیروی کار را پایین می‌آورد انگیزه‌ی نیرو کاهش می‌یابد، تعهد نیرو پایین می‌آید، عملکرد نیرو کاهش می‌یابد؛ در نتیجه بهره‌وری نیروی کار کاهش و دوباره‌کاری افزایش می‌یابد. در این حالت پروژه از برنامه عقب می‌افتد. بهره‌وری سیستم در این شرایط بسته به سناریوی جبران عقب ماندگی برنامه (سناریوی ۱ تا ۴) متفاوت است شکل ۱۸. در بدترین حالت، حقوق پایین نیروی کار ۱۴ درصد هزینه‌ها را افزایش و بهره‌وری سیستم را ۱۴ درصد کاهش می‌دهد.

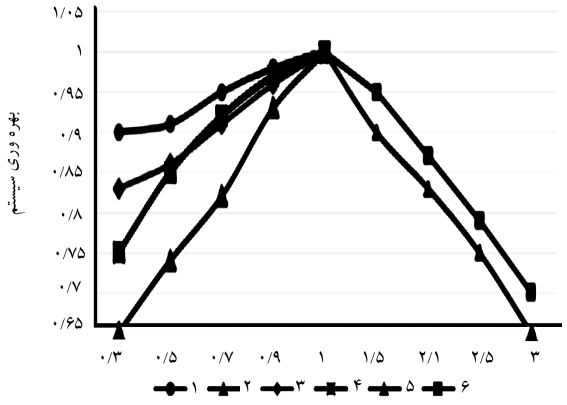
هنگامی که سازمان برای افزایش روحیه و انگیزه‌ی نیروی کار، حقوق نیروی کار را بالاتر از حالت نرمال تعیین کند، انگیزه‌ی نیرو افزایش می‌یابد، تعهد نیرو بالا می‌رود، عملکرد نیرو ارتقاء می‌یابد، در نتیجه بهره‌وری نیروی کار افزایش و دوباره‌کاری کاهش می‌یابد، اما هزینه‌های پروژه افزایش می‌یابد، کمبود نقدینگی ایجاد می‌شود، در نتیجه منجر به تأخیر در پرداخت حقوق، کمبود مواد و مصالح و مشکلات دیگر می‌شود. این عوامل بهره‌وری را کاهش می‌دهند. اثرات فزاینده‌ی بهره‌وری بیشتر از اثرات کاهنده‌ی آن است، در نتیجه پروژه زودتر از برنامه تکمیل می‌شود.

در این حالت، مزایای ناشی از تسریع پروژه کمتر از افزایش هزینه‌ی ناشی از افزایش حقوق است، بنابراین هزینه‌های نهایی تکمیل پروژه معادل ۰٫۴ درصد بالاتر از هزینه‌ی برنامه‌ریزی شده است و در نتیجه بهره‌وری سیستم ۰٫۴ درصد کاهش می‌یابد. بهترین حالت بهره‌وری سیستم مطابق با شکل ۱۸، هنگامی است که حقوق نیروی کار متناسب با مسئولیت آن باشد.

در شکل ۱۸ نمودار اثر انگیزش مالی به عنوان نمونه (میزان حقوق نیروی کار) بر بهره‌وری سیستم بر مبنای سناریوهای متفاوت نشان داده شده است.



شکل ۱۸. اثر ضریب حقوق نیروی کار بر بهره‌وری سیستم با سناریوهای مختلف.



شکل ۱۹. اثر کیفیت ماشین‌آلات بر بهره‌وری سیستم با سناریوهای مختلف.

۵.۶. تحلیل اثر سیاست‌های کیفیت کار بر بهره‌وری سیستم

چنان که در قسمت‌های قبلی تشریح شد کیفیت منابع انسانی، ماشین‌آلات و مصالح از جمله عوامل کیفی مؤثر بر بهره‌وری سیستم است؛ در این قسمت تأثیر کیفیت ماشین‌آلات بر بهره‌وری سیستم تحلیل شده است.

ماشین‌آلات و تجهیزات یکی از عناصر انجام هر پروژه‌یی است. هنگامی که سازمان از ماشین‌آلات و تجهیزات متناسب با کیفیت مورد نیاز پروژه استفاده کند، ضریب کیفیت پروژه برابر با ۱ است؛ در این حالت سیستم در نقطه‌ی تعادل است و مطابق با شکل ۱۸، شاخص بهره‌وری سیستم ۱ است.

مطابق با شکل ۱۹ اگر سازمان برای کاهش هزینه‌ها، از ماشین‌آلات و تجهیزات سطح پایین‌تری استفاده‌کند، کیفیت پروژه و افزایش دوباره‌کاری کاهش می‌یابد و دوباره‌کاری منجر به کاهش نرخ پیشرفت پروژه و در نهایت عقب ماندن از برنامه می‌شود. بهره‌وری سیستم در این شرایط، مطابق با شکل ۱۹، بسته به سناریوی جبران عقب‌ماندگی برنامه (سناریوی ۱ تا ۴) متفاوت است. در بدترین حالت، کیفیت پایین ماشین‌آلات ۳۵ درصد هزینه‌ها را افزایش و بهره‌وری سیستم را ۳۵ درصد کاهش می‌دهد.

اگر سازمان برای افزایش کیفیت پروژه، از ماشین‌آلات و تجهیزات سطح بالاتری استفاده کند، کیفیت پروژه افزایش و دوباره‌کاری کاهش می‌یابد. از سوی دیگر افزایش کیفیت ماشین‌آلات منجر به افزایش هزینه‌های پروژه می‌شود و در نهایت منجر به کاهش نقدینگی و اثرات آن بر بهره‌وری نیروی کار می‌شود. استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات با کیفیت بالاتر، به دلیل افزایش هزینه‌ها بهره‌وری سیستم را کاهش می‌دهد.

مطابق شکل ۱۹، بهترین بهره‌وری سیستم در حالتی است که کیفیت ماشین‌آلات متناسب با کیفیت مورد نیاز پروژه باشد.

۷. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بهره‌وری در سطح سازمان

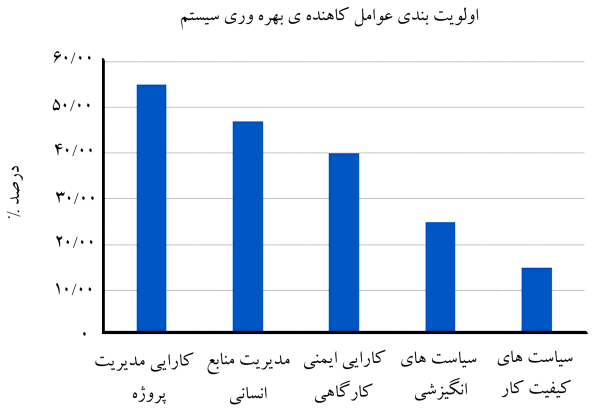
اولویت‌بندی، عوامل مهم مؤثر بر بهره‌وری و سودآوری سازمان را به مدیران سازمان نشان می‌دهد. در این بخش اولویت‌بندی از دو منظر انجام شد:

۱. عوامل کاهنده‌ی بهره‌وری نیروی کار، کارایی نیروی کار و افزاینده‌ی دوباره‌کاری؛

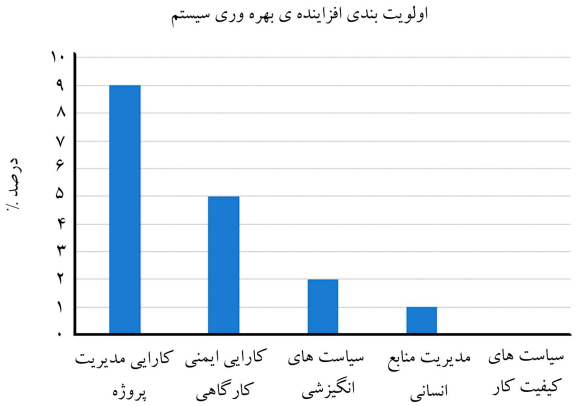
۲. عوامل افزاینده‌ی بهره‌وری نیروی کار، کارایی نیروی کار و کاهنده‌ی دوباره‌کاری.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲۰. اولویت‌بندی عوامل کاهنده‌ی بهره‌وری سیستم.



شکل ۲۱. اولویت‌بندی عوامل افزاینده‌ی بهره‌وری سیستم.

۱.۷. اولویت‌بندی عوامل کاهنده‌ی بهره‌وری سیستم

این اولویت‌بندی نشان می‌دهد که نبود کدام عامل، بیشترین اثر را بر بهره‌وری سازمان یا سودآوری می‌گذارد. مطابق شکل ۲۰، ضعف بلوغ مدیریت پروژه، بیشترین تأثیر منفی را بر بهره‌وری سازمان دارد.

۲.۷. اولویت‌بندی عوامل افزاینده‌ی بهره‌وری سیستم

این اولویت‌بندی نشان می‌دهد که تقویت کدام عامل بیشترین اثر را بر بهره‌وری سازمان یا سودآوری دارد. مطابق شکل ۲۱، قوت بلوغ مدیریت پروژه بیشترین تأثیر مثبت را بر بهره‌وری سازمان می‌گذارد.

۸. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، از مدل‌سازی سیستم‌های پویا برای ارزیابی بهره‌وری در سطح سازمان با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر بهره‌وری، کارایی نیروی کار و کیفیت کار و تعاملات پیچیده‌ی آنها، استفاده شد. این مدل پویا نشان داد که بهره‌وری در سطح سازمان در شرایط متفاوت و سناریوهای مختلف در طی پروژه (سناریوی ۱ تا ۶) متفاوت است. نتایج کلی حاصل از آنالیز مدل نشان می‌دهد:

۱. اگر سازمان به دنبال افزایش بهره‌وری، سود و موفقیت در پروژه‌هاست، باید بلوغ مدیریت پروژه‌ی خود را ارتقاء دهد. وقتی که بلوغ سازمان در مدیریت پروژه ضعیف باشد، مدیران پروژه ضعیف، اعتقاد به برنامه‌ریزی و کنترل پروژه کم، تعداد جلسات تعهدآور کم و سیستم اطلاعاتی مدیریت پروژه ضعیف و کمبود کارکنان مدیریتی وجود دارد. در نتیجه کارایی مدیریت پروژه پایین‌تر از حالت نرمال است، این حالت گاهی می‌تواند ۵۵ درصد هزینه‌ها را افزایش و در نتیجه بهره‌وری سیستم را تا ۵۵ درصد نسبت به حالت نرمال کاهش دهد. اما وقتی بلوغ سازمان در مدیریت پروژه قوی باشد می‌تواند ۹ درصد هزینه‌ها را کاهش و در نتیجه بهره‌وری سیستم را تا ۹ درصد نسبت به حالت نرمال افزایش دهد.

۲. ارتقای فرهنگ ایمنی و کار در شرایط ایمن در سازمان، حوادث را کاهش می‌دهد، کارایی تیم را بالا می‌برد و در نهایت منجر به ارتقای بهره‌وری تا حد ۵ درصد در سطح سازمان می‌شود. اما نبود ایمنی کار می‌تواند ۴۰ درصد هزینه‌ها را افزایش داده و بهره‌وری سیستم را تا ۴۰ درصد کاهش دهد.

۳. سازمان بهتر است در سطوح پایین هرم سازمانی خود از نیروی با مهارت نرمال استفاده کند. زیرا بهترین حالت در استخدام نیروی انسانی در این سطح، استفاده از نیروی با کیفیتی در حد نیاز تخصصی پروژه است (شکل ۱۶). زیرا اگر نیروی با کیفیت پایین استفاده شود حدود ۵۲ درصد هزینه‌ها را افزایش داده و بهره‌وری سیستم را ۵۲ درصد کاهش می‌دهد. همچنین اگر سازمان اقدام به استخدام نیروی با کیفیت بالاتر از سطح کیفی مورد نیاز کند، در این حالت حدود ۱۵ درصد هزینه‌ها را افزایش داده و بهره‌وری سیستم را پایین می‌آورد.

۴. سازمان پروژه‌محور بهتر است در سطوح بالایی هرم سازمانی خود، از نیروهای با مهارت بالا استفاده کند چون اگر سازمان، برای کاهش هزینه‌ها نیروهای فنی و نظارتی خود را پایین‌تر از حد تخصصی مورد نیاز پروژه (حالت نرمال) انتخاب کند حدود ۴۰ درصد هزینه‌ها را افزایش و بهره‌وری سیستم را کاهش خواهد داد ولی اگر از نیروهای قوی استفاده کند در این حالت حدود ۳ درصد هزینه‌ها را کاهش و بهره‌وری را افزایش خواهد داد.

۵. سازمان باید انگیزش‌های مالی را در حد نرمال حفظ کند.

پانوشت‌ها

1. scope
2. progress rate (PR)
3. back log work for final accept
4. work actualy completed
5. undiscovery rework
6. discovery rework
7. correct rate
8. re building
9. duration
10. actual duration

www.SID.ir

Archive of SID

11. time
12. actual remaining duration
13. total cost
14. comulative of human resource cost
15. ch in mach cost
16. ch in mat cost
17. ch in indirect cost
18. ch in penalty delay
19. ch in reward
20. desired work force(WF)cost per unit day
21. Normal WFcost per unit day
22. Effect of quality on cost
23. Effect of over time on cost WF
24. WF cost
25. material (MAT) cost
26. normal cost mat per unit work
27. quality of project
28. quality humanresource
29. quality machinery
30. quality material
31. desired WF
32. labour resource deficit
33. perceived WF
34. precieved fraction of man day in project
35. change (CH) in over time
36. change (CH) in decrese suspension
37. normal productivity WF
38. effect of fatigue on productivity
39. experience, skill WF
40. effect motivation on productivity
41. effect of lack of space on productivity
42. Potential productivity WF
43. net productivity
44. productivity machinary$ equipment
45. schedule performance index (SPI)

منابع (References)

1. Odesola, Okolie, Nnametu, "A Comparative evaluation of labour productivity of wall plastering activity using work study," *PM World Journal* (2015).
2. Soham, M. and Rajiv, B."Critical factors affecting labour productivity in construction projects: case study of south gujarat region of india", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, pp. 1-9 (2013).
3. Nasirzadeh, F. and Nojedehi, P."Dynamic modeling of labor productivity in construction projects", *International Journal of Project Management* (2013).
4. Adnan Enshassi et al, "Factors affecting labour productivity in building projects in the gaza strip", *Journal of Civil Engineering and Management*, pp. 1-11 (2007).
5. Absalom H. , Lamka, V. and et al, "Factors influencing effective productivity on construction sites in nairobi county", *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, pp. 1-7 (2014).
6. Shashank K, et al., "Analysis of key factors affecting the variation of labour productivity in construction project", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* (2014).
7. Naoum, S. G. "Factors influencing labor productivity on construction sites", *International Journal ofProductivity and Performance Management*, pp. 401-421 (2015).
8. Shabir Hussain Khahro, et al., "Improving labour productivity: an attribute case study of building sector projects in pakistan," *International Journal of Applied Engineering Research* (2016).
9. Vishal Sherekar, Mahesh Tatikonda, "Impact of factor affecting on labour productivity in construction projects by AHP method", *International Journal of Engineering Science and Computing* (2016).
10. Thomas, H. Randolph, David R. Riley, and Victor E. Sanvido., "Loss of labor productivity due to delivery methods and weather.", *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 39-46, (1999).
11. Ibbs, William, "Impact of change's timing on labor productivity," *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 1219-1223 (2005).
12. Hanna, Awad S., Craig, S., Taylor, and et al. "Impact of extended overtime on construction labor productivity.", *Journal of Construction Engineering and Management* , pp. 734-739 (2005).
13. Hanna, Awad S., et al., "Impact of overmanning on mechanical and sheet metal labor productivity", *Journal of Construction Engineering and Management* , pp. 22-28 (2007).
14. Hanna, Awad S., et al., "Impact of shift work on labor productivity for labor intensive contractor." *Journal of construction engineering and management*, pp. 197-204 (2008).
15. James M., Lyneisa and David N. Ford, "System dynamics applied to project management: a survey, assessment,and directions for future research", *System Dynamic Review*, pp. 157-189 (2007).
16. Sangwon Han et al., "A system dynamics model for assessing the impacts of design errors in construction projects", *Mathematical and Computer Modelling* (2011).
17. Jadranko Izetbegovića, Maja-Marija Nahod, "The impact of the additional workload on the productivity inconstruction projects", *Creative Construction* (2014).
18. Xiaodong Li a, et al, "Evaluating the impacts of high-temperature outdoor working environments on construction labor productivity in China: A case study of rebar workers," *Building and Environment*, pp. 42-52 (2015).
19. Mathew Chalker and Martin Loosemore, "Trust and productivity in Australian construction projects:a subcontractor perspective," *Engineering, Construction and Architectural Management*, pp. 192-210 (2015).
20. Zairra Mat Jusoh, Narimah Kasim, "A review on implication of material management to project performance," *MATEC Web of conferences* (2016).
21. Aborizak, herman, "Estimating labor productivity using probability infrence neural network," *Computing in Construction* (2000).
22. zayed, halpin, "Pile construction productivity assessment," *jounal of construction engineering and management* (2005).
23. Ali,zayed, hegab, "Modelling the effect of subjective factor on productivity of trenchless technology application to buried infrustructre systems," *Journal of Construction Engineering and Management* (2007).

www.SID.ir

Archive of SID

24. song, aborizak, "Measuring and modeling labor productivity using historical data," *Journal of Construction Engineering and Management* (2008).

25. Moselhi, khan, "Analysis of labour productivity of formwork operation in building construction," *Construction Ennovation* (2010).

26. park, kim,yoon, nepal, "Schaduling desicions and thier consequences on construction perfomance," *Ksce Journal of Civil Engineering* (2010).

27. Saad Al-jibour, Michael, J. and Mawdesley. "Modelling construction project productivity using systems dynamics approach," *International Journal of Productivity and Performance Management*, pp. 18-36 (2009).

28. Homyun Jang, et al., "Labour productivity model for reinforced concrete construction projects," *Construction Innovation*, pp. 92-113 (2011).

29. Farid Mirahadi , Tarek Zayed., "Simulation-based construction productivity forecast using neural-network-driven fuzzy reasoning," *Automation in Construction* (2016).

30. Shabbab, A. "Neural network based linear regression model for modeling productivity construction in saudi arabia," *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development* (2016).

31. sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking An Modeling For a Complex World, Boston: Mc Grow Hill* (2000).

32. Han,S., Lee, S. and Park, M."Dynamic project management: an application of system dynamics in construction engineering and management," *Intelligent Systems*, (2014).

33. Long Duy Nguyen, Stephen O. Ogunlana, "Modeling the dynamics of an infrastructure project," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, pp. 265-279, (2005).

34. Olatunji A. AIYETAN and Dillip DAS, "Using system dynamics modeling principles to resolve problem of rework in construction projects in Nigeria," '*construction project mangement and innovation* (2015).

35. Suinan, Li., "A generic model of project management with Vensim", *Faculty of Engineering and Science* (2008).

36. Nuria Forcada, et al., "Rework in highway projects," *Journal of Civil Engineering and Management*, pp. 455-470 (2014).

37. Arman Sadreddin, Rema Sawan and Andrea Schiffauerova, "Using system dynamics approach to model cost of quality in the procurement process of the construction industry," *Concordia Institute for Information Systems Engineering* (2012).

38. Nasirzadeh, F. and et al., "Modeling quality management in construction projects," *International Journal of Civil Engineering*, pp. 1-14 (2012).

39. Michael J. Mawdesley Saad Al-Jibouri, "Modelling construction project productivity using systems dynamics approach," *International Journal of Productivity and Performance Management*, pp. 1-24 (2010).

40. Mingyu Shina, et al., "A system dynamics approach for modeling construction workerssafety attitudes and behaviour," *Accident Analysis and Prevention*, pp. 1-11 (2013).

41. David Arditi , Shruti Nayak and Atilla Damci, "Effect of organizational culture on delay in construction," *International Journal of Project Management*, pp. 136-147 (2017).

42. Abraham Assefa Tsehayae and Aminah Robinson Fayek, "System model for analysing construction labour productivity," *Construction Innovation* (2016).

43. Chul-Ki Chang and Sungkwon Woo, "Critical review of previous studies on labor productivity loss due to overtime," *KSCE Journal of Civil Engineering*, pp. 1-7 (2017).

44. Dushyant, A. Deshmukh, Parag. and Mahatme, S. "Assessment of factors affecting productivity of excavator", *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, pp. 1-8, (2016).

45. Rachel L., Yim,Jason M., Castaneda,Toni L. and et al. "Exploring the relationship between rework projects and risk indicators," *Project Management Journal*, pp. 63-75 (2015).

46. Almazyed, K. and et al., "Study on the key factor parameters to increase productivity in construction and manufacturing industries.," *Materials Science and Engineering* (2016).

47. Low Sui Pheng, Gao Shang, and Woo Ka Foong, "Enhancing construction productivity through organizational learning in the Singapoure construction industry", *International Journal of Construction Project Management* (2016).

48. Blackstone john, et al., *A tutorial on project management from a theory of constriants perspective, university of georgia* (2009).

www.SID.ir