

ارائه مدل به کارگیری شبیه‌سازی در فرایند مدیریت پروژه‌های فنی - مهندسی توسعه محصول جدید در مراکز تحقیق و توسعه

صادق شهبازی^۱، سیدمجتبی سجادی^۲، فریبرز جولای^۳

چکیده: مهندسان طراح اغلب از شبیه‌سازی فناوری برای بهینه‌سازی عملکرد، آزمایش، آموزش و مهارت‌آموزی استفاده می‌کنند. از سوی دیگر می‌توان از شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی فرایندهای مدیریتی نیز استفاده کرد. یکی از فرایندهایی، که بیشتر مراکز تحقیق و توسعه با آن درگیر هستند، فرایند مدیریت و زمان‌بندی پروژه‌های توسعه محصول جدید است. این مقاله به تبیین موضوع مذکور، با ارائه نحوه مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایند و ارائه یک مثال عددی و تحلیل نتایج آن می‌پردازد. برای این منظور ابتدا متغیرها، پارامترها، محدودیت‌ها و اهداف سیستم مدیریت و زمان‌بندی پروژه‌های تحقیقاتی، که یکی از ویژگی‌های بارز آنها عدم قطعیت است، با بررسی الزامات چندین مرکز تحقیقاتی شناسایی، سپس نحوه مدل‌سازی آنها با استفاده از شبیه‌سازی بیان شده و بر روی یک مثال عددی پیاده‌سازی شد. برای رسیدن به اهداف این تحقیق از نرم‌افزار شبیه‌سازی Arena 14 استفاده شده است. پس از اجرای مدل برای مثال عددی مرکز تحقیقاتی مورد مطالعه، سناریوهای مختلف اولویت‌بندی پروژه‌ها بر روی آن اعمال شد؛ در نهایت، نتایج آن با استفاده از روش‌های آماری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل نشان داد که سناریوی S3 (فعالیت با کوتاه‌ترین زمان در اولویت بالاتر) دارای کمترین هزینه است. یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از شبیه‌سازی بدون نیاز به مدل‌سازی ریاضی دقیق می‌تواند در مقایسه با سایر روش‌های مدیریت و زمان‌بندی پروژه‌ها در شرایط عدم قطعیت، که با پیچیدگی بالایی روبه‌رو هستند اثربخش باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، توسعه محصول جدید، پروژه، شبیه‌سازی، مدیریت

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران. shahbazi.sadegh@ut.ac.ir

۲. استادیار، دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). msajadi@ut.ac.ir

۳. استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران. fjolai@ut.ac.ir

۱. مقدمه

شبیه‌سازی عبارت است از مجموعه گسترده‌ای از روش‌ها و برنامه‌ها به منظور نمایش رفتار سیستم واقعی که معمولاً با رایانه و با نرم‌افزارهای مناسب انجام می‌گیرد. در واقع، شبیه‌سازی می‌تواند یک اصطلاح عمومی باشد زیرا این تفکر می‌تواند در خیلی از رشته‌ها، صنایع و موارد کاربردی دیگر مورد استفاده قرار گیرد. امروزه، به خاطر پیشرفت‌های روزافزون رایانه و نرم‌افزار، شبیه‌سازی قدرتمندتر و محبوب‌تر از همیشه شده است. باین وجود، می‌توان از شبیه‌سازی برای مدیریت اثربخش انجام پروژه‌های تحقیقاتی نیز استفاده کرد. فرایند توسعه محصول جدید شامل فعالیت‌ها و تصمیماتی است که از مرحله ایجاد ایده تا ورود محصول به بازار را دربرمی‌گیرد. احتمال نرسیدن پروژه‌های توسعه محصول جدید به اهداف خود از جمله مؤلفه‌های جدانشدنی هر پروژه تحقیقاتی فنی و مهندسی بوده و این پروژه‌ها در محیطی سراسر عدم قطعیت در حال حرکت به سوی اهداف خود هستند. پیش‌بینی مؤلفه‌های عدم قطعیت، تحلیل آنها و برنامه‌ریزی در جهت کاهش آثار سوء آنها نقش مهمی در رسیدن به اهداف پروژه‌های مذکور ایفا می‌کند. یکی از اهداف کلیدی در این پروژه‌ها مدیریت صحیح منابع برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه تأخیر پروژه‌ها است. در راستای برطرف کردن این نیاز، پیاده‌سازی یک سیستم مدیریت زمان‌بندی پروژه بر مبنای عدم قطعیت ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع، به کارگیری شبیه‌سازی برای انتخاب بهترین سناریوی مدیریت و زمان‌بندی پروژه‌ها در گروه‌های پژوهشی، هنگامی که مدیران مراکز تحقیق و توسعه با تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی پروژه‌ها و اجرای آنها روبه‌رو می‌شوند، می‌تواند اثربخش باشد. هدف از مدیریت پروژه‌های توسعه محصول جدید، اولویت‌بندی انجام کارها در گروه‌های پژوهشی بر مبنای احتمالی بودن فعالیت‌ها، مدت‌زمان انجام فعالیت‌ها و احتمال خرابی تجهیزات با هدف حداقل کردن اختلاف بین هزینه دیرکرد و سود زودکرد پروژه‌ها و در نهایت بهبود بهره‌وری مرکز (استفاده بهینه از منابع) است.

۲. پیشینه پژوهش

در زمینه مسائل انتخاب و مدیریت پروژه با اهداف مختلف از جمله زمان‌بندی پروژه‌ها، براساس بررسی‌های انجام‌شده مهم‌ترین کارهای صورت‌گرفته به شرح زیر است:

بهاتچاریا^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، با شرایط عدم قطعیت در روابط بین پروژه‌ها یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی با اهداف سه‌گانه پیشینه‌سازی درآمد و حداقل‌سازی ریسک و هزینه با محدودیت منابع و بودجه و وابستگی بین پروژه‌ها ارائه داده‌اند. توفیقیان و نادری (۲۰۱۵) یک مدل انتخاب و

زمان‌بندی پروژه‌ها با هدف حداکثرکردن مطلوبیت ارائه کردند. کارازو^۱ و همکاران (۲۰۱۰) مدل برنامه‌ریزی باینری را برای انتخاب سبد پروژه با اهداف چندگانه حداکثرکردن جریان نقدینگی و میزان فروش و حداقل کردن میزان ریسک انجام داده‌اند. ژانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۵) به مسئله چندپروژه‌ای با محدودیت منابع در دو سطح با در نظر گرفتن ساختار سلسله‌مراتبی پیچیده سازمانی و محیط تصادفی فازی پرداختند که در سطح بالایی برنامه: هدف به حداقل رساندن جریمه تأخیر کل تمام پروژه‌های فرعی و حداقل‌سازی مصرف منابع است. سطح پایینی برنامه: حداقل‌سازی زمان اتمام پروژه فرعی است. گیوت‌جهار^۳ و همکاران (۲۰۱۱) مدل بهینه‌سازی خطی چند هدفه با در نظر گرفتن راندمان نیروی انسانی برای انتخاب سبد پروژه تحت عدم قطعیت با استفاده از برون‌سپاری پرداخته که تابع هدف در این مدل بهینه‌کردن بازدهی کل پروژه موردانتظار (مجموع بازده مورد انتظار از پروژه‌های انتخاب‌شده مجموعه زینه‌های موردانتظار برون‌سپاری) است.

در زمینه بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی، سجادی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی تحت عنوان «طراحی فرایندهای کسب‌وکارهای کوچک و متوسط حوزه کالاهای فاسدشدنی» به منظور طراحی سیاست بهینه تولید با رویکرد شبیه‌سازی باهدف تعیین نرخ بهینه تولید به‌گونه‌ای که امید ریاضی مجموع هزینه‌های تولید، نگهداری، کمبود و فساد کالا کمینه شود با استفاده از نرم‌افزار ARENA پرداخته‌اند. ملکی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای تحت عنوان «تبیین و بهبود شاخص‌های عملکردی در سیستم اورژانس با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد (مطالعه موردی: بیمارستان امام خمینی (ره) اراک)» با ارائه یک مدل بهبودیافته نسبت به مدل قبلی اورژانس، سبب طبقه‌بندی مناسب جریان کار و بهبود شاخص‌های عملکردی در اورژانس و همچنین کاهش نارضایتی‌های بیماران شدند. سجادی و همکاران (۲۰۱۱) در مقاله‌ای تحت عنوان «کنترل تولید در یک شبکه تولید مستعد شکست با استفاده از شبیه‌سازی رویداد گسسته و RSM» به هدف تعیین نرخ تولید بهینه با توجه به سیاست‌های کنترلی ماشین‌ها و همچنین، حداقل‌نمودن هزینه موجودی پرداخته‌اند. هشیم^۴ (۲۰۱۷) در مقاله‌ای با عنوان «شبیه‌سازی برای کاهش مصرف انرژی از منبع ولتاژ پایین چنددهسته‌ای سیستم تولید» به بررسی چند سناریو برای استفاده از دستگاه‌های مختلف پرداخته و بهترین منابع را پیشنهاد داده است. شارما^۵ و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای تحت عنوان «وضعیت موجودی در زنجیره تأمین با

-
1. Carazo
 2. Jang
 3. Gutjahr
 4. Hashim
 5. Sharma

استفاده از مدل شبیه‌سازی بر روی کاهش موجودی در یک مدل سه‌مرحله‌ای» با شناسایی نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش مجدد به منظور بهینه‌سازی موجودی پرداخته‌اند. تلس^۱ و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای تحت عنوان «تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی مبتنی بر سیستم انتقال چوب‌پنبه» به ایجاد یک مدل شبیه‌سازی برای ارزیابی جریان تولید از طریق تجزیه و تحلیل شاخص‌های عملکرد مانند زمان، میزان استفاده از منابع و همچنین صف پرداخته است و پس از تجزیه و تحلیل دقیق نتایج سیستم، برنامه‌ای کاربردی برای بهبود برنامه تولید ارائه داده است. رنه^۲ و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای تحت عنوان «بهبود عملکرد خط مونتاژ قفل با استفاده از فنون ناب و با رویکرد شبیه‌سازی» به بهبود عملکرد خط مونتاژ با به حداکثر رساندن شاخص‌های عملکرد مانند زمان سیکل، توان، استفاده از منابع و همچنین کاهش هزینه پرداخته است. در این تحقیق از فنون ناب مانند کایزن، نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر، بالانس خط برای حالات مختلف استفاده شده است. زارع و صالح اولیاء (۱۳۹۰) در مقاله‌ای تحت عنوان «کاربرد درس مهندسی صنایع در توانمندسازی مدیران بخش صنعت» به بررسی نقش درس‌های رشته مهندسی صنایع در زمینه توانمندسازی مدیران پرداخته‌اند که در این تحلیل درس شبیه‌سازی به عنوان یکی از درس‌های بررسی شده مورد توجه قرار گرفته است. ستوده و ظریفی (۱۳۸۴) در مقاله‌ای تحت عنوان «شبیه‌سازی فرایند به کمک رایانه برای مهندسان شیمی و ضرورت آموزش آن» به بررسی اهمیت آموزش‌های مرتبط با شبیه‌سازی فرایند پرداخته و در نهایت، پیشنهادی برای ایجاد این درس در برنامه مهندسی شیمی ارائه شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

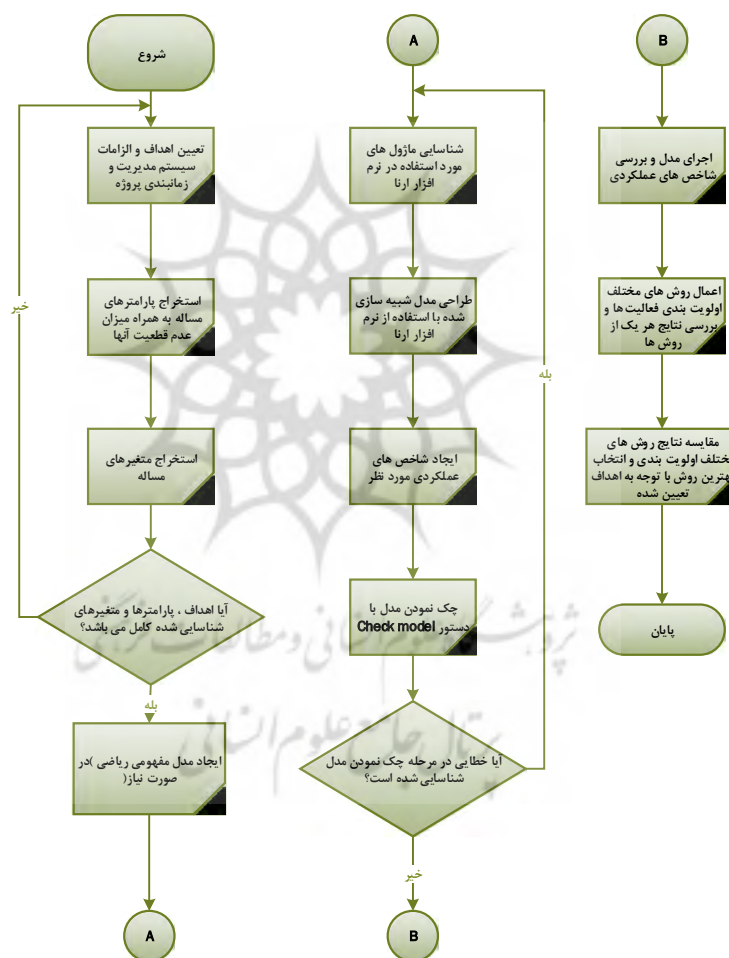
الف. شرح مسئله

استفاده از شبیه‌سازی توسط مهندسان طراح، بیشتر در حوزه طراحی محصول متمرکز است. از دیدگاه مدیریت و مهندسی صنایع استفاده از شبیه‌سازی می‌تواند در بهبود سیستم‌های مدیریتی با بهینه‌سازی شاخص‌های عملکردی استفاده شود. لذا مسئله اصلی این پژوهش نحوه شبیه‌سازی فرایند مدیریت و زمان‌بندی پروژه‌های توسعه محصول جدید به منظور کمک به مهندسان طراح در مراکز تحقیق و توسعه در مدیریت اثربخش پروژه‌ها است. در شرایط فعلی در اکثر این مراکز بیشتر از نرم‌افزار مدیریت پروژه^۳ استفاده می‌شود که با توجه به ماهیت پروژه‌های تحقیقاتی که دارای عدم قطعیت در فعالیت، زمان، منابع و سایر الزامات هستند؛ این نرم‌افزار انتظارات مدیران پروژه‌های تحقیقاتی را برآورده نمی‌کند. در

-
1. Teles
 2. Rane
 3. Microsoft Project (MSP)

بعضی موارد از روش‌های ریاضی و استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است که این روش‌ها نیازمند مدل‌سازی دقیق ریاضی هستند که با افزایش ابعاد مسئله سخت و پیچیده می‌شود.

ب. گام‌های پیاده‌سازی شبیه‌سازی به‌منظور مدیریت پروژه‌ها
 برای استفاده از شبیه‌سازی در پروژه‌های تحقیقاتی توسعه محصول جدید در مراکز تحقیق و توسعه مراحل زیر باید طی شود (شکل ۱):



شکل ۱: گام‌های پیاده‌سازی شبیه‌سازی به‌منظور مدیریت پروژه‌ها

۱۵۶ ارائه مدل به کارگیری شبیه‌سازی در فرایند مدیریت پروژه‌های فنی - مهندسی توسعه محصول جدید...

پ. شناسایی اهداف، پارامترها، متغیرها و محدودیت‌های مدل
هر پروژه تحقیقاتی مهندسی یک سری فعالیت دارد که ماهیت فعالیت‌ها در برخی موارد احتمالی است. از طرفی در فعالیت‌های تحقیقاتی زمان فعالیت نیز دارای عدم قطعیت است. به‌طور کلی مشخصات مدل مفهومی ریاضی برای تعیین توالی بهینه انجام پروژه ویژگی‌هایی دارد که باید در مدل شبیه‌سازی لحاظ شود:

توابع هدف :

تعیین توالی بهینه انجام فعالیت‌ها در گروه‌های پژوهشی برای:

- حداقل کردن هزینه‌های دیرکرد
- حداکثرکردن سودهای زودکرد
- حداکثرکردن بهره‌وری مرکز

پارامترهای مدل :

m : تعداد گروه‌های تحقیقاتی

n : تعداد پروژه‌ها

W_j : سود هر واحد زمانی زودکرد

V_j : هزینه هر واحد زمانی دیرکرد

d_j : تاریخ تحویل پروژه j ام

TT : کل زمان کاری مورد مطالعه

$A_{j,h}$: نشان‌دهنده فعالیت h از پروژه j ام

$y_{i,j,h}$: در صورتی که مقدار یک را داشته باشد، به این معنی است که گروه i انجام فعالیت $A_{j,h}$ را بر عهده دارد.

$f_{j,h,r}$: تابع توزیع مدت زمان انجام فعالیت h پروژه j ام توسط منبع r ام

متغیرهای مدل:

E_j : میزان واحد زمانی زودکرد پروژه j ام

T_j : میزان واحد زمانی دیرکرد پروژه j ام

C_j : تاریخ تکمیل پروژه j ام

$x_{i,j,h,k}$: فعالیت $A_{j,h}$ در گروه i در نوبت k (متغیر ۰ و ۱)

$x_{i,j,h,k,r}$: فعالیت $A_{j,h}$ در گروه i در نوبت k با استفاده از منبع r_i (متغیر ۰ و ۱)

$t_{i,j}$: زمان شروع فعالیت $A_{j,h}$ در گروه i

$Tm_{i,k}$: زمان شروع کار گروه i در نوبت k

k_i : تعداد فعالیت‌های اختصاص یافته به گروه i

R_i : تعداد منابع گروه i

$r_{i,l}$: منبع نوع l در گروه i

L_i : تعداد منبع نوع l در گروه i

محدودیت‌های مدل (الزامات) :

- محدودیت‌های پیش‌نیازی
- محدودیت زمان شروع هر فعالیت وابسته به اتمام فعالیت قبلی
- محدودیت شروع کار جدید در گروه منوط به اتمام کار قبلی در همان گروه
- محدودیت‌های الزام‌آور به گونه‌ای که یک فعالیت در صورتی می‌تواند شروع شود، که هم محدودیت پیش‌نیازی (فعالیت قبلی آن به اتمام رسیده باشد) و هم محدودیت گروه (گروه مورد نیاز آن آزاد باشد) در آن رعایت شده باشد.
- محدودیت مربوط به آنکه برای یک فعالیت تنها یک نوبت از بین نوبت‌های ممکن در گروه انتخاب شود.
- محدودیت تعداد پژوهشگران
- محدودیت پیشینه پژوهشگران (پژوهشگر با پیشینه کمتر مدت زمان انجام فعالیت بیشتر و بالعکس)
- محدودیت تعداد تجهیزات آزمایشگاهی

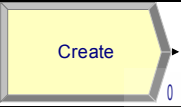
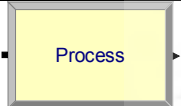
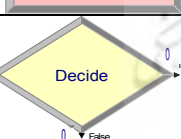
عدم قطعیت‌ها:

- مدت‌زمان انجام فعالیت‌ها
- فعالیت‌های احتمالی
- در دسترس بودن منابع

۱۵۸ ارائه مدل به کارگیری شبیه‌سازی در فرایند مدیریت پروژه‌های فنی - مهندسی توسعه محصول جدید...

ت. شناسایی الگوهای موردنیاز مدل، شبیه‌سازی مسئله و تعریف شاخص‌های عملکردی شبیه‌سازی رایانه‌ای در عام‌ترین معنا، فرایند طراحی مدلی ریاضی - منطقی از سیستم واقعی و آزمایش این مدل با رایانه است. در این بخش تحقیق روش پیشنهادی مدل‌سازی مسئله ارائه شده است. برای شبیه‌سازی مدل با توجه به اهداف، محدودیت‌ها، متغیرها و پارامترهای شناسایی شده می‌توان در نرم‌افزار شبیه‌سازی Arena14 از الگوهای زیر استفاده کرد (جدول ۱):

جدول ۱. نمادهای شبیه‌سازی برای تعریف فرایند مسئله تحقیق

نماد در شبیه‌سازی	عنوان نماد	شرح
	Create	تعریف زمان و تعداد ورود پروژه
	Assign	تعریف خصیصه‌های پروژه شامل توالی فعالیت‌ها، تاریخ تحویل، کد پروژه
	Station	ورود پروژه به گروه‌های پژوهشی برای انجام فعالیت پژوهشی
	Process	انجام کار پژوهشی بر روی فعالیت توسط پژوهشگر
	Route	هدایت فعالیت از یک گروه پژوهشی به گروه پژوهشی دیگر مطابق با توالی تعریف شده
	Decide	تعریف شروط لازم برای اختصاص خصیصه‌های متفاوت مانند زودکرد و دیرکرد پروژه
	Record	تعریف توابع هدف و ثبت نتایج مورد انتظار

به منظور تعریف و اعمال شاخص‌های عملکردی موردنیاز (بررسی توابع هدف) می‌توان از الگوی Record استفاده کرد.

پس از طراحی مدل شبیه‌سازی شده بر اساس اهداف، محدودیت‌ها، پارامترها و متغیرهای تعریف شده و بررسی مدل برای اجرای بدون خطا، می‌توان با اعمال سناریوهای مختلف اولویت‌بندی فعالیت‌ها بر روی مدل، نتایج مختلف به دست آمده برای تابع هدف را استخراج و با روش‌های آماری مقایسه و در نهایت بهترین سناریوی اولویت‌دهی به کارها را استخراج کرد. در این تحقیق چهار سناریو اولویت‌دهی به شرح زیر پیشنهاد شده است که در مثال عددی نیز استفاده شده است:

سناریو ۱: فعالیتی، که زودتر به گروه پژوهشی برای اجرا ارجاع داده می‌شود، در اولویت است.

سناریو ۲: فعالیتی، که دیرتر از سایر فعالیت‌ها به گروه ارجاع داده شده است، در اولویت است.

سناریو ۳: فعالیت با کوتاه‌ترین زمان در اولویت بالاتر

سناریو ۴: فعالیت با بیشترین زمان در اولویت بالاتر

در این زمینه می‌توان سناریوهای زیاد دیگری را پیشنهاد داد؛ برای مثال، برای هر پروژه یک خصیصه کمی در نظر گرفت و طبق مقداری، که به خصیصه اختصاص داده می‌شود، اولویت کارها و زمانی که سناریو پیشنهادی برای اولویت بر اساس خصیصه باشد، مشخص کرد.

ث. مثال عددی

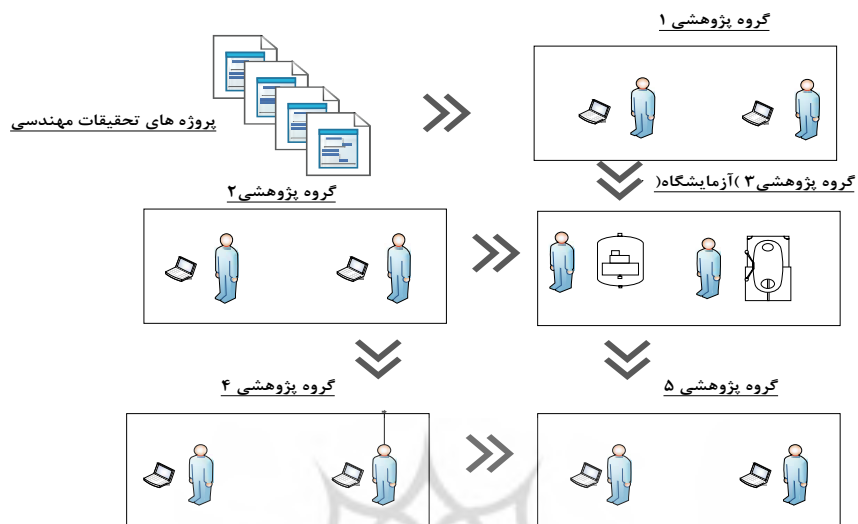
برای نشان دادن سازوکار کارکرد مدل یک مرکز تحقیق و توسعه، که بر روی چهار نوع پروژه مهندسی ۱، ۲، ۳ و ۴ فعالیت می‌کند، در نظر گرفته شده است. در این مدل درصد انواع پروژه، که قرار است مرکز بر روی آن فعالیت کند، مشخص است. هر یک از انواع پروژه‌ها موعده تحویل مشخصی دارند. پروژه‌ها در گروه‌های پژوهشی براساس قوانین زمان‌بندی مشخصی توسط پژوهشگران انجام می‌گیرند. در این مرکز تحقیق و توسعه دارای پنج گروه پژوهشی هستیم. توالی انجام پروژه‌ها و زمان عملیات هر فعالیت پروژه در هر گروه توسط هر پژوهشگر مطابق جدول ۲ است:

۱۶۰ ارائه مدل به کارگیری شبیه‌سازی در فرایند مدیریت پروژه‌های فنی - مهندسی توسعه محصول جدید...

جدول ۲: اطلاعات مربوط به مثال عددی

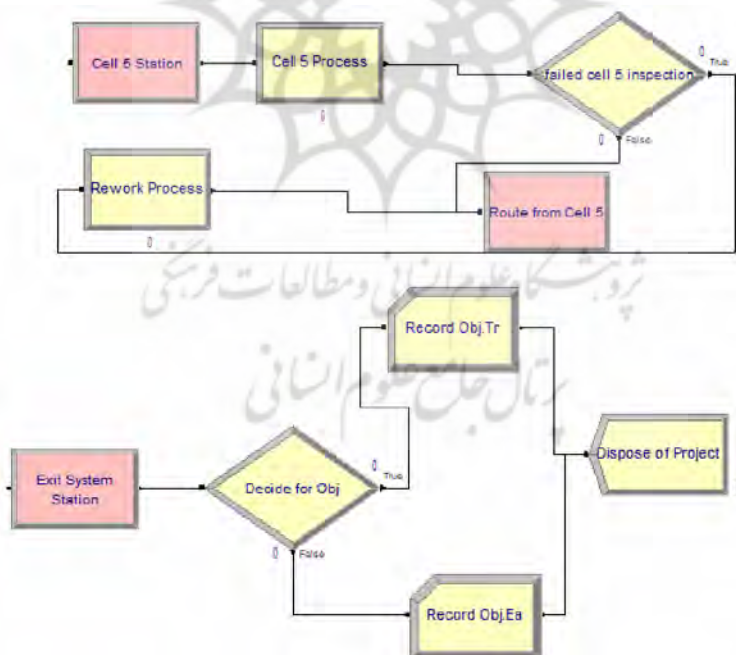
فرایند انجام پروژه (کد گروه پژوهشی)						مؤعد تحویل (روز)	درصد	توالی / زمان فعالیت
		۴	۳	۲	۱	۳۷	۲۰	توالی پروژه ۱
		یکنواخت بین ۸ تا ۱۱	مثلی -۱۵-۲۰ ۵	مثلی ۴-۶-۸	ثابت ۸			زمان فعالیت (روز)
۵	۳	۲	۴	۲	۱	۳۶	۳۰	توالی پروژه ۲
یکنواخت بین ۴ تا ۷	مثلی -۱۱-۱۵ ۹	مثلی ۶-۹-۱۲	مثلی -۱۸-۲۱ ۱۵	مثلی ۴-۶-۸	یکنواخت بین ۱۰ تا ۱۴			زمان فعالیت (روز)
		۴	۳	۱	۲	۴۷	۲۵	توالی پروژه ۳
		ثابت ۱۰	یکنواخت بین ۱۸ تا ۲۵	ثابت ۱۰	ثابت ۹			زمان فعالیت (روز)
			۵	۴	۲	۴۸	۲۵	توالی پروژه ۴
			یکنواخت بین ۴ تا ۸	ثابت ۷	مثلی ۶-۸-۱۰			زمان فعالیت (روز)

زمان بین دو ورود پروژه متوالی (تمامی انواع) دارای توزیع نمایی با میانگین ۵ روز است. اولین پروژه در زمان صفر وارد می‌شود و حداکثر تعداد ورود پروژه‌ها ۳۰ عدد است. گروه ۱، ۲، ۴، و ۵ هر کدام شامل دو پژوهشگر پیشینه یکسان است. گروه شماره ۳ دو دستگاه تست دارد. (دستگاه قدیم و دستگاه جدید، که زمان انجام آزمون با دستگاه جدید ۷۵ درصد زمان آزمون با دستگاه قدیم است). فعالیت‌های پژوهشی در گروه پنجم به احتمال ۳ درصد نیاز به تحقیق مجدد دارند (مطابق نتایج آزمایشگاهی). دستگاه قدیمی در گروه پژوهشی ۳ دارای خرابی با توزیع پواسون با نرخ ۱ بار در دو ماه است و زمان تعمیر آن توزیع یکنواخت ۵ الی ۱۰ روز دارد. هزینه دیرکرد هر پروژه ۲۰ واحد پول و هزینه زودکرد هر پروژه ۱۰- واحد پول است. شکل ۲ طرح‌واره انجام پروژه‌های تحقیقاتی مهندسی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: طرحواره انجام پروژه تحقیقاتی مهندسی

در شکل ۳ بخشی از مدل شبیه‌سازی شده مسئله پژوهش در نرم‌افزار Arena14 ارائه شده است:



شکل ۳: بخشی از مدل شبیه‌سازی شده انجام پروژه تحقیقاتی مهندسی

۱۶۲ ارائه مدل به کارگیری شبیه سازی در فرایند مدیریت پروژه های فنی - مهندسی توسعه محصول جدید...

ج. تحلیل یافته های مسئله با کمک طراحی آزمایش ها

➤ نتایج اجرای شبیه سازی

همان طور که در قسمت شرح مسئله بیان شد، مدل ریاضی مورد بررسی در این تحقیق دارای تابع هدف بر مبنای مجموع هزینه های دیرکرد و زودکرد است. برای حل این مسئله پس از شبیه سازی در نرم افزار Arena 14، در گروه های پژوهشی قوانین اولویت دهی فعالیت های پروژه ها در نظر گرفته شده است که در صورت ایجاد صف یکی از قوانین برای صف در نظر گرفته شود. نتایج به دست آمده برای مسئله عددی مطرح شده پس از ۴ بار آزمایش با تکرار ۱۰۰ مرتبه به ازای هر قانون اولویت بندی به شرح جدول ۳ است:

جدول ۳: نتایج به دست آمده از شبیه سازی

سناریوی اولویت دهی	شماره آزمایش	مقدار تابع هدف	میانگین نتایج
S1	۱	۲۰۵۷/۴۲	۱۷۴۲/۹۹
	۲	۱۶۰۸/۱۷	
	۳	۱۶۷۳/۵۸	
	۴	۱۶۳۲/۷۸	
S2	۱	۱۱۴۹/۷۳	۱۷۴۷/۷۱
	۲	۱۹۹۹/۷۶	
	۳	۱۷۴۱/۲۵	
	۴	۲۱۰۰/۱۳	
S3	۱	۱۵۹۰/۷۲	۱۳۹۵/۱۴
	۲	۱۴۸۰/۲۷	
	۳	۱۱۹۴/۹۹	
	۴	۱۳۱۴/۶۰	
S4	۱	۱۶۰۸/۴۳	۱۸۶۴/۵۰
	۲	۲۱۱۶/۰۸	
	۳	۱۶۶۲/۱۵	
	۴	۲۰۷۱/۳۵	

- فعالیتی که زودتر به گروه پژوهشی برای اجرا ارجاع داده می شود: S1

- فعالیتی، که دیرتر از سایر فعالیت ها به گروه ارجاع داده شده است، در اولویت است: S2

- فعالیت با کوتاه ترین زمان در اولویت بالاتر: S3

- فعالیت با بیشترین زمان در اولویت بالاتر: S4

باتوجه به نتایج جدول ۳، سناریوی S3 (فعالیت با کوتاهترین زمان در اولویت بالاتر) کمترین هزینه و سناریوی S4 (فعالیت با بیشترین زمان در اولویت بالاتر) بیشترین هزینه را دارد.

➤ آزمون تحلیل واریانس برای بررسی نتایج

به منظور تعیین بهترین توالی ابتدا تجزیه و تحلیل واریانس برای بررسی تساوی میانگین بر روی داده‌های بالا انجام گرفته است:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

H_1 : حداقل یکی از میانگین‌ها با بقیه متفاوت است

باتوجه به جدول ۴ از آنجایی که مقدار P-value کمتر از ۰/۰۵ است، بنابراین فرض یک قبول می‌شود و بین میانگین‌ها اختلاف معنادار وجود دارد؛ بنابراین در مسئله بالا سناریوی سوم یعنی «فعالیت با کوتاهترین زمان در اولویت بالاتر» برای اولویت‌بندی پروژه‌های تحقیقات مهندسی انتخاب می‌شود.

جدول ۴: تجزیه و تحلیل واریانس

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	۹۰۵۷۸۰/۳۴۹	۳	۳۰۱۹۲۶/۷۸۳	۳/۵۴۵	۰/۰۴۸
Within Groups	۱۰۲۱۸۹۴/۲۱۵	۱۲	۸۵۱۵۷/۸۵۱		
Total	۱۹۲۷۶۷۴/۵۶۳	۱۵			

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق ابتدا مفروضات مسئله تعیین توالی پروژه‌های فنی - مهندسی توسعه محصول جدید در گروه‌های پژوهشی با هدف حداکثر کردن سود زودکرد و حداقل کردن هزینه دیرکرد بیان شد. در ادامه روش شبیه‌سازی مسئله بیان شد، مدل شبیه‌سازی مسئله با کمک نرم‌افزار Arena14 طراحی شد و با یک مثال عددی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. پس از بررسی اولیه نتایج سناریوی S3 (فعالیت با

۱۶۴ ارائه مدل به کارگیری شبیه‌سازی در فرایند مدیریت پروژه‌های فنی - مهندسی توسعه محصول جدید...

کوتاه‌ترین زمان در اولویت بالاتر) دارای کمترین هزینه و سناریوی S4 (فعالیت با بیشترین زمان در اولویت بالاتر) دارای بیشترین هزینه است. همچنین، پس از بررسی آماری نتایج با روش تجزیه و تحلیل واریانس و با کمک نرم‌افزار SPSS24 مشخص شد که میانگین نتایج چهار سناریو از لحاظ آماری تفاوت معناداری دارند و لذا سناریوی برگزیده S3 از نظر آماری نیز مورد پذیرش قرار گرفت. به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که روش شبیه‌سازی بدون نیاز به مدل‌سازی دقیق ریاضی و تنها با بررسی و شناسایی الزامات (محدودیت‌ها)، پارامترها، متغیرها و توابع هدف می‌تواند در زمینه مدیریت پروژه‌های توسعه محصول جدید که ماهیت عدم قطعیت در فعالیت، زمان و منبع دارند، اثربخش باشد. و مدیران مراکز تحقیق و توسعه می‌توانند از این راه‌کار برای مدیریت پروژه‌های مرکز استفاده کنند. نتایج استفاده از شبیه‌سازی علاوه بر موضوع پژوهش نام‌برده برای زمان‌بندی مسائل حمل‌ونقل زمینی و هوایی، تعیین زمان سیکل تولید و سایر موارد مشابه در حوزه فنی - مهندسی نیز می‌توان استفاده کرد.

مراجع

- زارع بنادکوکي، محمدرضا و صالح‌اولیاء، محمد. (۱۳۹۰). کاربرد دروس مهندسی صنایع در توانمندسازی مدیران بخش صنعت. *فصلنامه آموزش مهندسی/ایران*، ۱۳(۴۹)، ۸۸-۷۱.
- ستوده قره‌باغ، رحمت و ظریفی، محمدعلی (۱۳۸۴). شبیه‌سازی فرایند به‌کمک کامپیوتر برای مهندسان شیمی و ضرورت آموزش آن. *فصلنامه آموزش مهندسی/ایران*، ۷(۲۵)، ۴۴-۲۷.
- سجادی، سیدمجتبی؛ توان، فرشته و حیدری، جلیل (۱۳۹۴). طراحی فرایندهای کسب و کارهای کوچک و متوسط حوزه کالاهای فاسد شدنی به‌منظور طراحی سیاست بهینه تولید با رویکرد شبیه‌سازی. *پژوهش‌های مدیریت در ایران*، ۱۹(۳)، ۳۵-۷.
- ملکی، عباس؛ سجادی، سیدمجتبی و رضایی، بابک (۱۳۹۳). تبیین و بهبود شاخص‌های عملکردی در سیستم اورژانس با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد (مطالعه موردی: بیمارستان امام خمینی(ره) اراک)، مدیریت اطلاعات سلامت.
- Bhattacharyya, R.; Kumar, P. and Kar, S. (2011). Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. *Computers & Mathematics with Applications*, 62(10), 3857-3870.
- Carazo, A. F.; Gómez, T.; Molina, J.; Hernández-Díaz, A. G.; Guerrero, F. M. and Caballero, R. (2010). Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection. *Computers and Operations Research*, 37(4), 630-639.
- Gutjahr, W. J. (2011). Optimal dynamic portfolio selection for projects under a competence development model. *OR Spectrum*, 33(1), 173-206. University Press. New York.

- Hashim, S. A. M. (2017). Simulation for reducing energy consumption of multi core low voltage power camel manufacturing system. *Journal on Technical and Vocational Education*, 1(2).
- Klemmt, A.; Horn, Weigert, S. G. and Wolter, K. J. (2009) Simulation-based optimization vs. mathematical programming: A hybrid approach for optimizing scheduling problems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25, 917-925.
- Rane, A. B.; Sunnapwar, V. K.; Chari, N. R.; Sharma, M. R. and Jorapur, V. S. (2017). Improving performance of lock assembly line using lean and simulation approach. *International Journal of Business Performance Management*, 18(1), 101-124.
- Sharma, S. K.; Suraj, B. V. and Routroy, S. (2017). Positioning of inventory in supply chain using simulation modeling. *The IUP Journal of Supply Chain Management*, 8, (2), 20-32.
- Sajadi, S. M.; Esfahani, M. M. S., and Sørensen, K. (2011). Production control in a failure-prone manufacturing network using discrete event simulation and automated response surface methodology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(1-4), 35-46.
- Teles, J.; Lopes, R. B. and Ramos, A. L. (2017). A simulation-based analysis of a cork transformation system. In *Engineering Systems and Networks* (pp. 3-11). Springer, Cham
- Pinedo, M. L. (2012). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*: Springer.
- Tofighian, A. A. and Naderi, B. (2015). Modeling and solving the project selection and scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 83, 30-38.
- Yan, Y. and Guoxin, W. (2007). A job shop scheduling approach based on simulation optimization. *Industrial Engineering and Engineering Management, IEEE International Conference*, 1816-1822.