*پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری*
*دوره ۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶*

# بهینه‌سازی بر مبنای شبیه‌سازی توالی انجام پروژه‌های توسعه محصول جدید در مراکز پژوهشی

**صادق شهبازی[۱]، سید مجتبی سجادی[۲*]، فریبرز جولای[۳]**

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- استادیار، دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران،تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۶/۳/۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۱

**چکیده**

مدیریت صحیح و اثربخش انجام پروژه‌ها در مراکز تحقیق‌وتوسعه، یکی از اهداف کلیدی این مراکز است. تعیین بهینه توالی انجام پروژه‌ها در محیط تحقیقاتی در بهره‌وری نیروی انسانی، ماشین‌آلات و هزینه‌های مربوط به دیرکرد و زودکرد تحویل پروژه‌ها تأثیرگذار است. از سوی دیگر، قوانین مختلفی برای تعیین اولویت‌دهی پروژه‌ها در گروه‌های تحقیقاتی وجود دارد که این موضوع در مسئله چندپروژه‌ای با توالی‌های مختلف، حل مدل‌های ریاضی را به یک مسئله NP-Hard تبدیل می نماید. لذا رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی برای یافتن جواب نزدیک به بهینه، می‌تواند اثربخش باشد. در این مقاله، ابتدا یک مدل مفهومی برنامه‌ریزی ریاضی جهت تعیین توالی انجام پروژه‌ها ارائه‌شده است؛ سپس به کمک نرم‌افزار Arena 14 مدل شبیه‌سازی، طراحی و در ادامه با حل یک مثال عددی، جواب نزدیک به بهینه مسئله ازلحاظ بهره‌وری، هزینه دیرکرد و سود زودکرد به‌منظور انتخاب بهترین روش اولویت‌بندی کارها در گروه‌های پژوهشی ارائه شد و نتیجه آن با طراحی آزمایش‌ها و آزمون توکی موردبررسی و آزمون قرار گرفت. درنهایت، روش LPT، جهت اولویت‌بندی کارها هنگام ایجاد صف در ورودی گروه‌های پژوهشی انتخاب شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در شبیه‌سازی، برخلاف سایر روش‌های بهینه‌سازی، نیاز به ایجاد یک مدل ریاضی دقیق نیست بلکه با یک مدل مفهومی ریاضی می‌توان به نتایج مطلوبی دست‌یافت و

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: msajadi@ut.ac.ir

این امر حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده را درصورتی‌که بتوان به مدل شبیه‌سازی‌شده تبدیل نمود، تسهیل می‌نماید.

**کلیدواژه‌ها:** بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی؛ توسعه پروژه جدید؛ بهره‌وری؛ دیرکرد-زود کرد.

## ۱- مقدمه

یکی از دغدغه‌هایی که مراکز تحقیقاتی با آن درگیر هستند، تعیین روش اولویت‌دهی بهینه برای انجام پروژه‌ها در گروه‌های پژوهشی این مراکز در هنگامی است که ورودی این گروه‌ها با صف انجام تعدادی از فعالیت‌های مرتبط با پروژه‌ها مواجه می‌شوند. لذا وجود یک سیستم بهینه‌سازی جهت کمک به مدیران گروه‌ها در اخذ سیاست‌های صحیح در راستای اولویت دادن اصولی به کارها، انجام به‌موقع پروژه‌ها و افزایش بهره‌وری در گروه‌های پژوهشی مراکز تحقیقاتی با توجه به محدودیت‌های موجود و ماهیت احتمالی عناصر پروژه‌های توسعه محصول جدید از ضروریات این مراکز است. در خصوص مسائل تولیدی، مسئله تولید کارگاهی نوعی از مسائل توالی عملیات است که در آن، کارها از ماشین‌های مشخص ولی متمایز عبور می‌کنند؛ به‌عبارت‌دیگر، در این مسئله هر کاری که وارد سیستم می‌شود باید ماشین‌های مشخص و از پیش تعیین‌شده‌ای را ملاقات نماید و این ترتیب برای کارهای مختلف باهم فرق می‌کند [۱]. با نگاهی عمیق‌تر به سیستم تولید کارگاهی می‌توان دریافت که پویایی و عدم قطعیت از ویژگی‌های بارز این نوع سیستم تولید است. لذا در بررسی موضوع این تحقیق می‌توان از رویکرد کارگاهی استفاده نمود. با توجه به اهمیت موضوع، ارائه یک مدل مفهومی ریاضی جهت تعیین توالی بهینه انجام پروژه‌های توسعه محصول جدید و حل آن با روش بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی (که در حالت‌های دارای پیچیدگی بالا در مسئله، اثربخش است)، می‌تواند کمک شایانی به این مراکز نماید. هدف از تعیین توالی بهینه انجام پروژه‌ها، اولویت‌بندی انجام کارها در گروه‌ها در مقاطع زمانی که چند پروژه به‌طور همزمان به یک گروه پژوهشی محول می‌شود، است. در چنین مواقعی، مدیران گروه‌ها باید نسبت به تصمیم‌گیری درباره اولویت‌بندی آن‌ها اقدام نمایند. در چنین شرایطی، معیارهای زیادی برای تصمیم‌گیری وجود دارد که نیاز به درایت بالای مدیر گروه پژوهشی دارد که برخی از مهم‌ترین

معیارها می‌تواند تحویل فعالیت‌های محول شده با حداقل تأخیر و همچنین استفاده مناسب از منابع باشد. از طرفی، با توجه به شرایط مبتنی بر احتمال مدت‌زمان انجام فعالیت‌های پروژه‌های توسعه محصول جدید، احتمال خرابی تجهیزات و احتمال انجام فعالیت جدید با توجه به نتیجه آزمون‌های آزمایشگاهی، تصمیم‌گیری را پیچیده می‌نماید. در این پژوهش با بررسی روش‌های اولویت‌دهی کارها، سعی شده است با شبیه‌سازی آن‌ها در مراکزی که بر روی پروژه‌های توسعه محصول جدید فعالیت می‌نمایند به مدیران در تصمیم‌گیری اثربخش کمک شود.

## ۲- پیشینه پژوهش

درزمینه بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی، سجادی و همکاران به طراحی فرایندهای کسب‌وکارهای کوچک و متوسط حوزه کالاهای فاسدشدنی جهت سیاست بهینه تولید با رویکرد شبیه‌سازی پرداختند. هدف در این طراحی، تعیین نرخ بهینه تولید به‌گونه‌ای که امید ریاضی مجموع هزینه‌های تولید، نگهداری، کمبود و فساد کالا کمینه شود، بوده است [۲]. شهبازی و همکاران در مقاله ای تحت عنوان «ارایه مدل بکارگیری شبیه سازی در فرایند مدیریت پروژه های فنی مهندسی توسعه محصول جدید در مراکز تحقیق و توسعه» به بیان نحوه بکارگیری فرایندی شبیه سازی در مدیریت پروژه های فنی مهندسی پرداخته و الگوریتمی جهت اجرای فرایند به همراه یک مثال عددی ارایه دادند[۳].ملکی و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «تبیین و بهبود شاخص‌های عملکردی در سیستم اورژانس با استفاده از شبیه‌سازی گسسته‌ی پیشامد (مطالعه‌ی 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 [۴]. در تحقیقی تحت عنوان «ارایه یک مدل بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی به منظور زمانبندی پروژه های توسعه محصول جدید در مراکز تحقیق و توسعه» شهبازی و همکاران به ارایه یک مدل ریاضی و حل آن با کمک شبیه سازی در شرایط عدم قطعیت پرداخته و پس از استخراج جواب بهینه، با بررسی سناریوهای مختلف مربوط به تعداد منابع در گروه های پژوهشی شرایط بهبود تابع هدف را ارایه نمودند[۵]. سجادی و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «کنترل تولید در یک شبکه

تولید مستعد شکست با استفاده از شبیه‌سازی رویداد گسسته و «RSM[1]» به هدف تعیین نرخ تولید بهینه با توجه به سیاست‌های کنترلی ماشین‌ها و همچنین حداقل نمودن هزینه موجودی پرداخته‌اند [۶]. هشیم در مقاله‌ای تحت عنوان «شبیه‌سازی برای کاهش مصرف انرژی از منبع ولتاژ پایین چندهسته‌ای سیستم تولید»، به بررسی چند روش جهت استفاده از دستگاه‌های مختلف پرداخته و بهترین منابع را پیشنهاد داده است [۷]. شارما و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «تعیین وضعیت موجودی در زنجیره تأمین با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده»، در یک مدل سه مرحله‌ای با شناسایی نقطه سفارش مجدد و مقدار سفارش مجدد به‌منظور بهینه‌سازی موجودی پرداخته‌اند[۸]. تلس و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان «تجزیه‌وتحلیل شبیه‌سازی مبتنی بر سیستم انتقال چوب‌پنبه» به ایجاد یک مدل شبیه‌سازی جهت ارزیابی جریان تولید از طریق تجزیه‌وتحلیل شاخص‌های عملکرد مانند زمان، میزان استفاده از منابع و همچنین صف پرداخته اند و پس از تجزیه‌وتحلیل دقیق نتایج سیستم، برنامه کاربردی جهت بهبود برنامه تولید ارائه داده اند [۹]. رنه و همکاران 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 فاصله زمانی بین دو تولید، توان، استفاده از منابع و همچنین کاهش هزینه پرداخته اند. در این تحقیق از فنون ناب مانند کایزن، نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر و موازنه خط برای حالات مختلف استفاده‌شده است [۱۰]. درزمینه مسائل انتخاب و مدیریت پروژه با اهداف مختلف ازجمله زمان‌بندی پروژه‌ها براساس بررسی‌های انجام‌شده تعدادی از کارهای صورت گرفته به شرح زیر است:

باهاتچاریا و همکاران با شرایط عدم قطعیت و روابط بین پروژه‌ها، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی با اهداف سه‌گانه بیشینه‌سازی درآمد و کمینه‌سازی ریسک و هزینه با محدودیت منابع و بودجه و وابستگی بین پروژه‌ها ارائه داده‌اند [۱۱]. در تحقیق ژانگ و همکاران، به مسئله چندپروژه‌ای با محدودیت منابع در دو سطح و با در نظر گرفتن ساختار سلسله مراتبی پیچیده سازمانی و محیط تصادفی فازی پرداخته‌شده که در سطح بالایی برنامه، هدف به حداقل رساندن جریمه تأخیر

1. Response Surface Method

تمام پروژه‌های فرعی و حداقل‌سازی مصرف منابع است و در سطح پایینی برنامه، هدف حداقل‌سازی زمان اتمام پروژه فرعی است [۱۲]. غفوری و تقی زاده یک مدل ریاضی چندهدفه برای مسئله زمان‌بندی پروژه تحت شرایط محدودیت منابع و حل آن با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری کرم شب‌تاب و تبرید شبیه‌سازی‌شده ارائه دادند که نتایج به‌دست‌آمده حاکی از عملکرد مطلوب الگوریتم کرم شب‌تاب و عملکرد قابل‌قبول تبرید شبیه‌سازی‌شده در حل مسئله فوق‌الذکر و در مقایسه با بهترین جواب‌های موجود برای مسائل استاندارد تاکنون است [۱۳]. هایده متقی و اکبر قدردان در پژوهشی تحت عنوان «کاهش زمان تحویل تولید با استفاده از نقشه‌برداری جریان ارزش و شبیه‌سازی بر اساس یک مطالعه موردی»، نخست با استفاده از نقشه‌برداری جریان ارزش به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلی تولید ناب، اتلاف‌ها و فرصت‌های بهبود را شناسایی و به‌صورت نظام‌مند برای کاهش هر یک از این اتلاف‌ها، ابزارهای تولید ناب را معرفی کردند. سپس وضعیت موجود و وضعیت بهبودیافته با نرم‌افزار Arena شبیه‌سازی شده و درنهایت با اجرای مدل‌های شبیه‌سازی، وضعیت موجود و بهبودیافته، خروجی‌های دو سیستم بر اساس معیارهای کلیدیِ زمان تحویل تولید، موجودی در جریان ساخت و حمل‌ونقل غیرضروری مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان از کاهش چشم‌گیری در منابع اتلاف بود [۱۴]. شبیه‌سازی، درواقع، رویکردی برای تحلیل حساسیت سیستم و مقایسه بین راه‌حل‌های ممکن است. افزایش قدرت محاسباتی رایانه‌های امروزی سبب شده انجام این کار برای مسائل پیچیده‌تر و با تکرارهای زیاد امکان‌پذیر شود. تعیین مؤلفه های کنترلی مناسب برای مدل شبیه‌سازی‌شده می‌تواند منجر به بهبود عملکرد سیستم و رسیدن به جواب بهینه شود. بدین منظور می‌توان با ترکیب روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی در عین در نظر گرفتن پویایی مدل، جواب مناسبی برای آن تولید نمود. روش‌های بهینه‌سازی بر اساس شبیه‌سازی به‌جای آنکه روی فرمول یا گراف تمرکز کنند، روی شیء تمرکز می‌کنند و سعی می‌کنند از این طریق مسئله را بهینه نمایند. این روش حل مسئله، علاوه بر انعطاف‌پذیری بالا، دارای دقت زیادی نیز هست.

مهم‌ترین مؤلفه قابل‌تغییر در بهینه‌سازی مسائل زمان‌بندی براساس شیء (محصول)، چگونگی اولویت‌دهی به کارها در صف ماشین‌هاست. در این روش، جواب قطعی بهینه برای مسئله به دست نمی‌آید ولی سیاست مناسبی برای اولویت‌دادن به

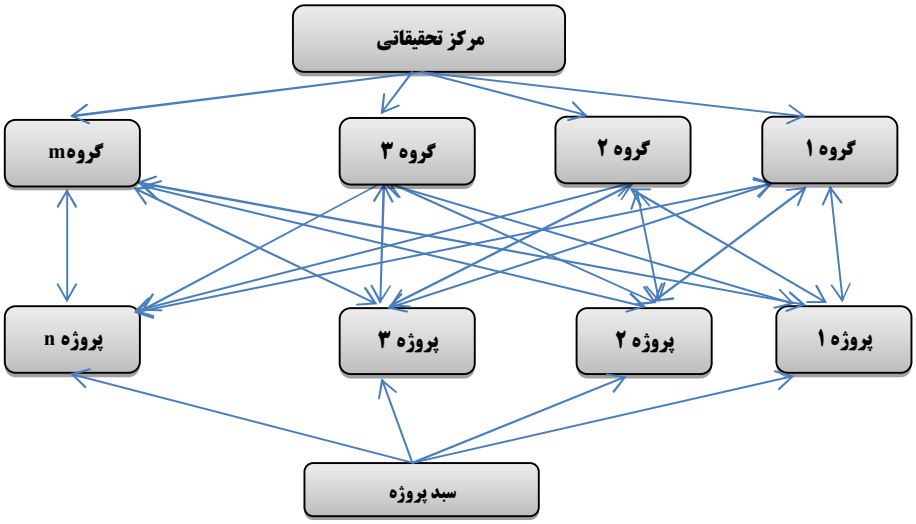
کارها در پشت صف ماشین‌ها پیشنهاد می‌شود. در مرجع بلک استون، فیلیپس و هاگ، قوانین پیشنهادشده برای اولویت‌دهی به کارها در پشت صف ماشین‌ها برای سیستم تولید کارگاهی بررسی و طبقه‌بندی‌شده و با استفاده از شبیه‌سازی، حالت‌های موجود برای سیستم ارزیابی‌شده است. این مقاله جز اولین مقالات درزمینه طبقه‌بندی قوانین اولویت‌دهی به کارهاست. در سال‌های اخیر، مقالات زیادی در این زمینه ارائه‌شده است [۱۵]؛ به‌عنوان‌مثال، در تحقیقاتی توسط چان، لائوو ایپی، ونگ و رن روش‌های جدیدتری برای این کار پیشنهادشده است. روش‌های به کار گرفته‌شده برای بهینه‌سازی بر اساس شبیه‌سازی به پنج دسته روش‌های جستجوی شیب، روش‌های تقریبی تصادفی، بهینه‌سازی مسیر نمونه، روش پاسخ سطح و روش‌های ابتکاری و فراابتکاری تقسیم می‌شوند [۱۶]. با ترکیب شبیه‌سازی، قوانین اولویت‌دهی و روش‌های جستجوی تصادفی می‌توان جواب مناسبی برای سیستم تولیدی به دست آورد؛ بدین‌صورت که پس از مدل‌سازی سیستم با شبیه‌سازی، یک بردار کنترلی برای مسئله تعریف می‌شود که این بردار به‌صورت تصادفی تولیدشده و به‌عنوان متغیر کنترلی به شبیه‌ساز داده‌شده و نتایج حاصل از آن به‌عنوان مقدار تابع هدف مسئله در نظر گرفته می‌شود و با کمک روش‌های جستجو تغییراتی در این بردار ایجاد و سعی می‌شود نتایج مناسب‌تری برای مسئله حاصل شود. در این زمینه کلمت، هرن، بیر و ویگرت با ترکیب شبیه‌سازی با روش‌های جستجوی محلی ازجمله قبول آستانه‌ای، شبیه‌سازی تبریدی، جستجوی حریصانه و سایر الگوریتم‌ها اقدام به اولویت‌دهی به کارها در یک سیستم دارای زمان آماده‌سازی کرده‌اند [۱۷].

## ۳- روش‌شناسی پژوهش

### ۳-۱- شرح مسئله

مراکز تحقیقاتی در صنایع کشور دارای چندین گروه پژوهشی و تجهیزات آزمایشگاهی هستند که معمولاً به‌طور همزمان بر روی چندین پروژه توسعه محصول جدید فعالیت می‌نمایند. مدیریت صحیح انجام پروژه‌ها در این مراکز تحقیقاتی به‌منظور تعیین سیاست انجام کارها در گروه‌های پژوهشی توسط مدیران گروه‌ها، استفاده بهینه از پژوهشگران و همچنین تجهیزات آزمایشگاهی موجود با توجه به ماهیت احتمالی بودن فعالیت‌ها، زمان انجام آن‌ها و مدیریت صحیح

دوباره‌کاری‌های ناشی از آزمون‌های آزمایشگاهی، فرایندی سخت و پیچیده است. لذا مسئله اصلی این تحقیق ارائه یک مدل مفهومی ریاضی جهت تعیین توالی بهینه اجرای پروژه‌ها در گروه‌های پژوهشی مراکز تحقیق‌وتوسعه دفاعی به‌منظور افزایش بهره‌وری (نیروی انسانی و تجهیزات گروه‌ها) و کاهش هزینه دیرکرد و بهبود زودکرد انجام پروژه‌ها با اعمال سیاست مدیران گروه‌ها و با رویکرد شبیه‌سازی است. منظور از سیاست، رویکرد مدیر گروه جهت اولویت‌دادن به پروژه‌هایی است که در صف خدمت گرفتن از گروه هستند. این شرایط با کمک مدل، شبیه‌سازی‌شده و با در نظر گرفتن سیاست‌های مختلف مدیران گروه‌ها، درگرفتن بهترین تصمیم توسط مدیر با توجه به اهداف مرکز کمک خواهد شد.




**شکل ۱ رابطه بین سبد پروژه توسعه محصول جدید و گروه‌های پژوهشی مراکز تحقیق‌وتوسعه**

مدل ریاضی (برنامه‌نویسی ترکیبی عدد صحیح و غیرخطی) به‌منظور شناسایی بیشتر مسئله و همچنین استفاده از آن برای حل مسائل ارائه می‌شود. در حالت کلی، ما مسئله زمان‌بندی سبد پروژه‌های توسعه محصول در گروه‌های پژوهشی مراکز

تحقیق‌وتوسعه با رویکرد احتمال را به‌صورت زیر مدل‌سازی می‌کنیم. این مسئله دارای $m$ گروه تحقیقاتی و $n$ پروژه است. هر پروژه شامل یک توالی از فعالیت‌ها $A_{j,h}, h=1,2,...,h_j$ است که $A_{j,h}$ نشان‌دهنده فعالیت $h$ از پروژه $j$ ام و $h_j$ نشان‌دهنده تعداد فعالیت‌های موردنیاز پروژه $j$ ام است. مجموعه گروه‌ها با $G=\{G_1,G_2,...,G_m\}$ نمایش داده می‌شود. اندیس $i$ نشان‌دهنده گروه، اندیس $j$ نشان‌دهنده پروژه و اندیس $h$ برای فعالیت به‌کار می‌رود. برای اجرای فعالیت $h$ از پروژه $j$ که به‌صورت $A_{j,h}$ نشان داده می‌شود، یک گروه اختصاص داده شده است که توانایی انجام آن فعالیت را دارد. انجام فعالیت $A_{j,h}$ دارای مدت‌زمان به‌صورت $P_{j,h}$ است که دارای توزیع مشخص خود است (برای مثال، توزیع نرمال با میانگین $\mu_{j,h}$ و انحراف معیار $\sigma_{j,h}$). گروه اختصاص‌یافته به هر فعالیت با استفاده از متغیر صفر و یک $y_{i,j,h}$ تعریف می‌شود. درصورتی‌که مقدار متغیر $y_{i,j,h}$ یک باشد، این معنی را می‌دهد که گروه $i$ انجام فعالیت $A_{j,h}$ را بر عهده دارد. برای در نظر گرفتن مسئله توالی، برای هر گروه سری نوبت در نظر گرفته می‌شود. به هر فعالیت اختصاص‌یافته به یک گروه نوبتی اختصاص داده می‌شود. این نوبت‌ها توالی انجام فعالیت‌ها را توسط آن گروه مشخص می‌نماید. برای این منظور از متغیر صفر و یک $x_{i,j,h,k}$ استفاده می‌نماییم. درصورتی‌که این متغیر داری ارزش یک باشد، این معنی را می‌رساند که فعالیت $A_{j,h}$ در گروه $i$ در نوبت $k$ انجام می‌شود. اهداف در این مسئله به شرح زیر است:

الف- حداقل نمودن هزینه‌های دیرکرد؛

ب- حداکثر کردن سودهای زودکرد؛

ج- حداکثر کردن بهره‌وری مرکز در انجام پروژه‌های توسعه محصول.

مؤلفه های مسئله:

$m$: تعداد گروه‌های تحقیقاتی؛

$n$: تعداد پروژه‌ها؛

$W_j$: سود هر واحد زمانی زودکرد متناسب با امتیاز پروژه $j$ ام در مرحله تعیین سبد پروژه؛

$V_j$: هزینه هر واحد زمانی دیرکرد متناسب با امتیاز پروژه $j$ام در مرحله تعیین سبد پروژه؛

$d_j$: تاریخ تحویل پروژه $j$ام؛

$TT$: کل زمان کاری موردمطالعه؛

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

$y_{i,j,h}$: درصورتی‌که مقدار یک را داشته باشد، این معنی را می‌دهد که گروه $i$ انجام فعالیت $A_{j,h}$ را بر عهده دارد؛

$k_i$: تعداد فعالیت‌های اختصاص‌یافته به گروه $i$؛

$R$: تعداد منابع؛

$r_{i,l}$: تعداد منبع نوع $l$ در گروه $i$؛

$P_{j,h,r}$: مدت‌زمان احتمالی انجام فعالیت $A_{j,h}$ با استفاده از منبع $r$ (با توزیع مشخص).

**متغیرهای مسئله:**

$E_j$: میزان واحد زمانی زود کرد 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 $r_l$ (متغیر ۰ و ۱)؛

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

$Tm_{i,k}$: زمان شروع کارگروه $i$در نوبت $k$.

با داشتن مؤلفه ها و متغیرهای بالا، مسئله موردبررسی به‌صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$\mathrm{MinZ}_1 = \sum_{j=1}^{n} \mathrm{V_j}.(\max\left\{0, \mathrm{C_j} - \mathrm{d_j}\right\}) \qquad \text{رابطه ۱)}$$

$$\mathrm{MaxZ}_2 = \sum_{j=1}^{n} \mathrm{W_j}.(\max\left\{0, \mathrm{d_j} - \mathrm{C_j}\right\}) \qquad \text{رابطه ۲)}$$

$$\mathrm{MaxZ}_3 = \sum_{i=1}^{m} \frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{k_i}\sum_{r=1}^{r_i} P_{j,h,r}.x_{i,j,h,k,r}}{TT.r_i} \qquad \text{رابطه ۳)}$$

S.t:

$$\mathrm{P_{j,h,r}} \approx f_{j,h,r} \qquad \text{رابطه ۴)}$$

$$\mathrm{E_j} = \max\left\{0, \mathrm{d_j} - \mathrm{C_j}\right\} \qquad \text{رابطه ۵)}$$

$$\mathrm{T_j} = \max\left\{0, \mathrm{C_j} - \mathrm{d_j}\right\} \qquad \text{رابطه ۶)}$$

$$\mathrm{C_j} = \mathrm{t_{j,h_j}} + \mathrm{p_{j,h_j},}r \qquad \text{رابطه ۷)}$$

$$\mathrm{t_{j,h}} + \mathrm{p_{j,h,r}} \le \mathrm{t_{j,h+1}} \text{ for } \mathrm{j} = 1,2,...,\mathrm{n};\ \mathrm{h} = 1,2,...,\mathrm{h_j} - 1 \qquad \text{رابطه ۸)}$$

$$Tm_{i,k} + p_{j,k,r}.x_{i,j,h,k,r} \le Tm_{i,k+1} \quad \text{fori} = 1,..,m; j = 1,...,n; h = 1,...,h_j; k = 1,...,k_i - 1;$$ رابطه ۹)

$$Tm_{i,k} \le t_{i,k} + (1 - x_{i,j,h,k}).M \quad \text{fori} = 1,..,m; j = 1,...,n; h = 1,...,h_j; k = 1,...,k_i;$$ رابطه ۱۰)

$$Tm_{i,k} + (1 - x_{i,j,h,k}).M \le t_{j,h} \quad \text{fori} = 1,..,m; j = 1,...,n; h = 1,...,h_j; k = 1,...,k_i;$$ رابطه ۱۱)

$$\sum_j \sum_k x_{i,j,h,k,r} = 1 \quad \text{fori} = 1,...m; k = 1,...,k_i;$$ رابطه ۱۲)

$$\sum_k x_{i,j,h,k,r} = y_{i,j,h} \quad \text{fori} = 1,...m; j = 1,...,n; h = 1,...,h_j;$$ رابطه ۱۳)

$$t_{j,h} \ge 0 \quad \text{for} \quad j = 1,...,n; h = 1,...,h_j;$$ رابطه ۱۴)

$$x_{i,j,h,k,r} \in \{0,1\} \text{ for } i = 1,...,m; j = 1,...,n; h = 1,...,h_j; k = 1,...,k_i$$ رابطه ۱۵)

رابطه ۱ بیانگر تابع هدف برای حداقل نمودن مجموع هزینه‌های دیرکرد است. رابطه ۲ بیانگر تابع هدف برای حداکثر نمودن مجموع سودهای زودکرد و رابطه ۳ بیانگر تابع هدف برای حداکثر نمودن بهره‌وری گروه‌هاست. رابطه۴ مدت‌زمان انجام هر فعالیت را معرفی می‌نماید و رابطه ۵ میزان زودکرد هر پروژه را تعریف می‌نماید. رابطه ۶ میزان دیرکرد هر پروژه را تعریف می‌نماید. رابطه ۷ زمان تکمیل هر پروژه را تعریف نموده و رابطه ۸ محدودیت‌های پیش‌نیازی را معرفی

می‌نماید. این محدودیت زمان شروع هر فعالیت را به اتمام فعالیت قبلی محدود می‌کند. رابطه ۹ این الزام را به وجود می‌آورد که، در صورتی یک گروه می‌تواند به کار در نوبت $k+1$ بپردازد که کار آن گروه در نوبت k به اتمام رسیده باشد. رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ این الزام را به وجود می‌آورند که در صورتی یک فعالیت می‌تواند شروع شود که هم محدودیت پیش‌نیازی (فعالیت قبلی آن به اتمام رسیده باشد) و هم محدودیت گروه (گروه موردنیاز آن آزاد باشد) رعایت شده باشند. رابطه ۱۲موجب می‌شود که برای یک فعالیت تنها یک نوبت از بین نوبت‌های ممکن انتخاب شود. رابطه ۱۳موجب می‌شود که برای هر فعالیت، از گروه اختصاص‌یافته به آن فعالیت نوبت اجرای فعالیت تعیین شود. رابطه‌های ۱۴ و ۱۵ نوع متغیرها را معرفی می‌نمایند.

### ۲-۳- مدل‌سازی مسئله در نرم‌افزار Arena

درروش پیشنهادی، سیستم تعیین سیاست توالی بهینه انجام پروژه‌ها در مراکز تحقیقاتی با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار Arena 14 مدل‌سازی می‌شود و سپس با استفاده از قوانین اولویت‌دهی کارها در هر گروه پژوهشی سعی بر یافتن بهترین روش اولویت‌دهی کارها که بهترین جواب را برای تابع هدف مسئله ایجاد کند، می‌شود.

#### ۱-۲-۳- سیاست‌های اولویت‌دهی به انجام فعالیت‌های پروژه‌ها در گروه‌ها

تصمیم‌گیری در مورد انتخاب یک فعالیت از بین فعالیت‌های موجود در صف، در زمان آزاد شدن گروه، برای انجام توسط گروه از مهم‌ترین تصمیمات در محیط‌های تحقیقاتی است. در سال‌های اخیر، روش‌های زیادی برای این منظور پیشنهادشده و موردبررسی و ارزیابی قرارگرفته‌اند. در این روش‌ها از معیارهای مختلفی برای اولویت‌دهی به فعالیت‌ها استفاده می‌شود و فعالیت‌های با اولویت بالاتر زودتر وارد گروه می‌شود.

در این مقاله از هفت قانون اولویت‌دهی متداول استفاده‌شده است که مطابق جدول ۱ عبارت‌اند از:

**جدول ۱ روش‌های اولویت‌دهی به کار گرفته‌شده**

| روش‌های اولویت‌دهی به‌کار گرفته‌شده | توضیح روش |
|---|---|
| FIFO | سیاست حق تقدم با فعالیت‌های زودتر ارجاع داده‌شده |
| LIFO | سیاست حق تقدم با فعالیت‌های دیرتر ارجاع داده‌شده |
| SPT | سیاست حق تقدم با فعالیت‌های دارای حداقل زمان اقدام |
| LPT | سیاست حق تقدم با فعالیت‌های دارای حداکثر زمان اقدام |
| EDD | سیاست حق تقدم فعالیت‌های بر اساس تاریخ تحویل پروژه |
| CR | سیاست حق تقدم فعالیت‌ها بر اساس میزان بحرانی بودن پروژه |
| SLACK | اولویت‌دهی بر اساس متوسط زمان تأخیر در تحویل پروژه |

جهت تولید زمان اتمام مورد انتظار برای استفاده در قانون زودترین زمان اتمام مورد انتظار پروژه از روش کل محتوای پروژه استفاده می‌شود که از رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه ۱۴)
$$d_j = A_i + \sum_{i=1}^{h_j} p_{j,h}$$

که در این رابطه $j$ شماره پروژه، $d_j$ زمان مورد انتظار تخمین‌زده شده برای تحویل پروژه $j$، $A_j$ زمان ورود پروژه $j$ام و $p_{j,i}$ زمان پردازش فعالیت پروژه $j$ بر روی گروه $i$ ام است.

برای به دست آوردن نرخ بحرانی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

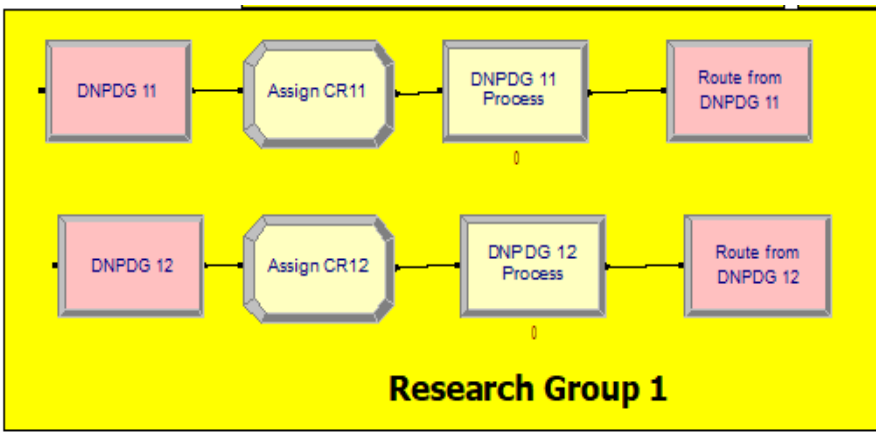
رابطه ۱۵)
$$CR_{ji} = \frac{D_j}{p_{ji}}$$

برای به دست آوردن متوسط زمان تـأخیر در تحویـل پـروژه (SLACK) از رابطـه زیر استفاده می‌شود:

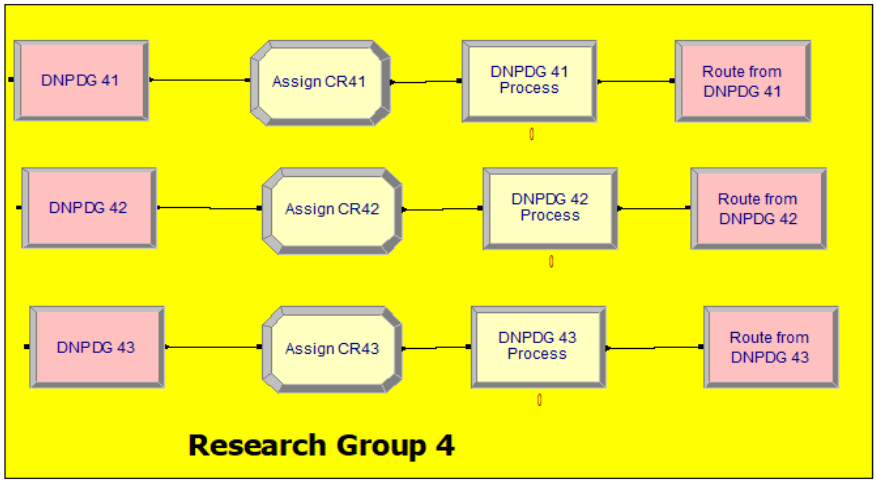
$$SLACK_{ji} = (D_j - ArrivalTime_j) - p_{ji}$$ رابطه (۱۶)

**۳-۲-۳- مدل شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار Arena 14**

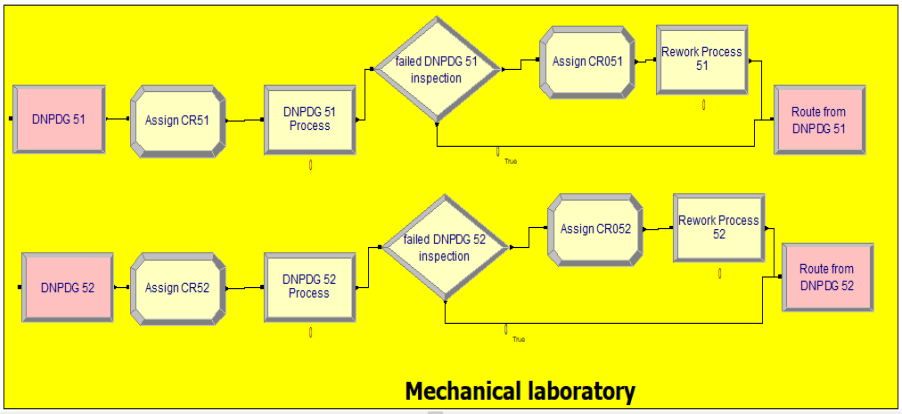
شبیه‌سازی، بیان رفتار پویای یک سیستم در حالت پایدار به‌واسطه حرکت آن از یـک وضعیت به وضعیت دیگر بر اسـاس قواعـد عملیـاتی تعریـف شـده اسـت. اصـولاً در شبیه‌سازی، از رایانه برای ارزیابی عددی یک مدل اسـتفاده‌شـده و در آن، داده‌هـا بـه جهت تخمین ویژگی‌های موردنظر مدل جمع‌آوری می‌شوند. شبیه‌سـازی رایانـه‌ای در عام‌ترین معنایش، فرایند طراحی مدلی ریاضی-منطقـی از سیسـتم واقعـی و آزمـایش این مدل با رایانه اسـت. در ایـن تحقیـق نیـز پـس از مـدل‌سـازی سیسـتم مربـوط بـه زمان‌بندی انجام پروژه‌ها، آن را در نرم‌افزار Arena 14 پیـاده‌سـازی نمـوده و سـپس پس از بررسی صحت و اعتبار مدل بـا دادن داده‌هـای ورودی بـه مسـئله و همچنـین تغییر قوانین اولویت‌دهی به فعالیت‌های پروژه‌هـا، بـه مقـدار بهینـه مـوردنظر نزدیـک می‌شویم. شکل‌های ۲ تا ۴ بخشی از مدل شبیه‌سازی‌شده مسئله را نشان می‌دهند.




**شکل ۲ مدل شبیه‌سازی‌شده جهت انجام پروژه‌ها در گروه تحقیقاتی ۱ با رویکرد CR**




**شکل ۳ مدل شبیه‌سازی‌شده جهت انجام پروژه‌ها در گروه تحقیقاتی ۴ با رویکرد CR**




**شکل ۴ مدل شبیه‌سازی‌شده جهت انجام آزمون‌های مکانیکی با رویکرد CR**

### ۴-۳- مثال عددی

به‌منظور نشان دادن مکانیزم کارکرد مدل، یک مرکز تحقیقاتی که قرار است بر روی پنج پروژه ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ کار کند، در نظر گرفته‌شده است. هر یک از پروژه‌ها دارای

موعد تحویل مشخص با توجه به قرارداد منعقدشده هستند. پروژه‌ها بر روی گروه‌های پژوهشی بر اساس قوانین زمان‌بندی مشخصی قرار می‌گیرند. این مرکز تحقیقاتی ۴ گروه پژوهشی و یک آزمایشگاه مکانیکی دارد. توالی انجام پروژه‌ها و زمان انجام هر پروژه در هر گروه پژوهشی مطابق جدول ۲ است:

**جدول ۲ اطلاعات مربوط به مثال عددی**

| توالی/زمان انجام | موعد تحویل | سود/هزینه- زودکرد /دیرکرد | فرایند انجام پروژه در گروه‌های پژوهشی (شماره گروه) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| توالی پروژه ۱ | ۱۲۰ | ۳/۶ | ۱۱ | ۲۲ | ۳۲ | ۴۱ | ۴۲ | ۱۱ |
| زمان انجام | | | ثابت ۴۰ | مثلثی ۱۸-۱۲-۱۰ | مثلثی ۲۰-۱۵-۵ | یکنواخت بین ۸ تا ۲۵ | ثابت ۸۰ | ثابت ۳۰ |
| توالی پروژه ۲ | ۹۲ | ۳/۴۶ | ۳۱ | ۲۱ | ۱۲ | ۴۳ | | |
| زمان انجام | | | یکنواخت بین ۱۰تا ۱۴ | ثابت ۶۰ | مثلثی ۲۱-۱۸-۱۵ | مثلثی ۲۴-۱۹-۱۰ | | |
| توالی پروژه ۳ | ۱۳۶ | ۳/۵ | ۱۲ | ۳۲ | ۴۲ | ۵۱ | | |
| زمان انجام | | | یکنواخت ۱۰تا ۱۲ | ثابت ۴۰ | یکنواخت بین ۳۶ تا ۵۰ | ثابت ۴۰ | | |
| توالی پروژه ۴ | ۹۶ | ۳ | ۲۱ | ۳۱ | ۴۲ | ۵۲ | | |
| زمان انجام | | | مثلثی ۴۴-۳۸-۳۲ | ثابت ۳۰ | یکنواخت بین ۳۰ تا ۳۸ | ثابت ۲۰ | | |
| توالی پروژه ۵ | ۱۸۰ | ۴/۹ | ۴۱ | ۴۳ | ۳۱ | ۲۲ | ۱۱ | ۵۱ |
| زمان انجام | | | ثابت ۴۴ | مثلثی ۳۱-۲۵-۲ | مثلثی ۱۹-۱۴-۱۰ | ثابت ۳۲ | یکنواخت ۱۵ تا ۲۲ | ثابت ۲۰ |

تمام پروژه‌ها در زمان صفر وارد می‌شوند. گروه‌های پژوهشی ۱، ۲، ۳ و ۴، به ترتیب دارای ۲، ۲، ۲ و ۳ واحد هستند که در هر واحد ۱ الی ۲ پژوهشگر مشغول به فعالیت هستند. در واحدهای گروه سوم، پژوهشگران به دودسته مبتدی و باسابقه تقسیم‌بندی شده‌اند که زمان انجام کار توسط پژوهشگران باسابقه ۰/۷ پژوهشگران مبتدی است. همچنین این مرکز تحقیقاتی دارای یک آزمایشگاه آزمون مکانیکی است که در آن دو دستگاه آزمون A و B قرار دارند و آزمون‌های انجام‌شده توسط آن‌ها به‌احتمال، به ترتیب، ۳ و ۷ درصد نیاز به تکرار دارد.

## ۴- تحلیل یافته‌های پژوهش با کمک طراحی آزمایش‌ها

### ۱-۴- نتایج اجرای شبیه‌سازی

همان‌طور که در قسمت شرح مسئله بیان شد مدل ریاضی موردبررسی در این تحقیق دارای تابع هدف بر مبنای هزینه‌های دیرکرد و سود زودکرد که درنهایت، بهینه آن‌ها موجب افزایش بهره‌وری گروه‌ها می‌شود، است. برای حل این مسئله پس از شبیه‌سازی در نرم‌افزار Arena 14، در سلول‌ها قوانین اولویت‌دهی کارها در نظر گرفته‌شده که در صورت ایجاد صف، یکی از قوانین برای صف (در تمام سلول‌ها به‌طور مشترک) در نظر گرفته شود. نتایج به‌دست‌آمده برای مسئله عددی مطرح‌شده به‌ازای هر قانون اولویت‌بندی به شرح جدول ۳ است:

**جدول ۳ نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی**

| روش اولویت‌دهی | کد روش | شماره پروژه | تعداد تکرار | متوسط مقدار تابع هدف زودکرد | متوسط مقدار تابع هدف دیرکرد |
|---|---|---|---|---|---|
| FIFO | ۱ | ۱ | ۱۰۰ | | ۱۷۴۶/۴۶ |
| | | ۲ | ۱۰۰ | | ۱۱۰۴/۶۵ |
| | | ۳ | ۱۰۰ | ۴۳/۸۷ | ۴۷۵/۵۸ |
| | | ۴ | ۱۰۰ | ۰ | ۱۱۵۲/۲۲ |
| | | ۵ | ۱۰۰ | | ۴۰۲/۶۲ |
| LIFO | ۲ | ۱ | ۱۰۰ | | ۱۱۰۹/۳۴ |
| | | ۲ | ۱۰۰ | | ۴۷۶/۶۲ |

| روش اولویت‌دهی | کد روش | شماره پروژه | تعداد تکرار | متوسط مقدار تابع هدف زودکرد | متوسط مقدار تابع هدف دیرکرد |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ۳ | ۱۰۰ | ۴۳/۸۳ | ۱۳۴۵/۹۲ |
| | | ۴ | ۱۰۰ | | ۱۱۶۵/۴۸ |
| | | ۵ | ۱۰۰ | ۴۰.۵۴ | ۵۱۳/۳۸ |
| SPT | ۳ | ۱ | ۱۰۰ | | ۲۰۳۸/۰۸ |
| | | ۲ | ۱۰۰ | | ۱۱۰۵/۳۴ |
| | | ۳ | ۱۰۰ | ۴۳.۸۶ | ۸۷۷/۱۱ |
| | | ۴ | ۱۰۰ | | ۵۱۲/۱۷ |
| | | ۵ | ۱۰۰ | | ۳۴۷/۳۷ |
| LPT | ۴ | ۱ | ۱۰۰ | | ۱۱۴۵/۳۵ |
| | | ۲ | ۱۰۰ | | ۴۸۶/۹۳ |
| | | ۳ | ۱۰۰ | ۴۳/۸۶ | ۶۸۰/۷۵ |
| | | ۴ | ۱۰۰ | | ۱۵۸۴/۰۵ |
| | | ۵ | ۱۰۰ | | ۴۹۹/۳۸ |
| EDD | ۵ | ۱ | ۱۰۰ | | ۸۰۳/۴۶ |
| | | ۲ | ۱۰۰ | | ۴۷۶/۷۱ |
| | | ۳ | ۱۰۰ | ۴۳/۸۶ | ۱۷۴۷/۴۲ |
| | | ۴ | ۱۰۰ | | ۱۱۲۸/۷۵ |
| | | ۵ | ۱۰۰ | ۴۰/۵۴ | ۵۹۳/۴۵ |
| CR | ۶ | ۱ | ۱۰۰ | | ۱۱۴۳/۶۵ |
| | | ۲ | ۱۰۰ | | ۴۶۲/۶۸ |
| | | ۳ | ۱۰۰ | ۴۳/۸۶ | ۱۲۲۰/۸۸ |
| | | ۴ | ۱۰۰ | | ۱۲۴۳/۵۶ |
| | | ۵ | ۱۰۰ | ۴۳/۲۵ | ۴۹۴/۴۱ |
| SLACK | ۷ | ۱ | ۱۰۰ | | ۹۸۱/۵۵ |
| | | ۲ | ۱۰۰ | | ۴۹۰/۳۱ |
| | | ۳ | ۱۰۰ | ۴۳/۸۶ | ۱۵۷۰/۹۰ |
| | | ۴ | ۱۰۰ | | ۱۱۳۵/۴۶ |
| | | ۵ | ۱۰۰ | ۴۳/۲۵ | ۵۰۸/۸۶ |

### ۲-۴- طراحی آزمایش‌ها به کمک تحلیل واریانس

وقتی محقق بخواهد میانگین‌های یک صفت کمی را در سه یا بیش از سه گروه مقایسه کند، آنالیز واریانس یک‌طرفه راه‌حل مناسبی است. درواقع این تجزیه‌وتحلیل، محقق را در فهم تفاوت بین گروه‌ها یاری می‌کند. در طرح آزمایش نیز هرگاه خواسته شود اثر عاملی با بیش از دو سطح را بر متغیر پاسخ بررسی شود، از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده می‌شود. علت نام‌گذاری این آزمون درواقع مقایسه‌ی «یک» صفت در چند گروه است.برای انجام آنالیز واریانس نیز همانند سایر آزمون‌ها باید پیش‌فرض‌هایی برقرار باشد؛ این پیش‌فرض‌ها به‌قرار زیر است:

- نمونه‌های گرفته‌شده از هر جامعه کاملاً تصادفی و مستقل باشند؛
- متغیر تصادفی موردنظر (صفت موردبررسی) در هرکدام از جامعه‌ها از توزیع نرمال پیروی کنند؛
- واریانس متغیر تصادفی در همه‌ی جامعه‌ها برابر باشند.

به‌منظور تأیید آماری بهترین توالی توسط تحلیل واریانس، ابتدا در ۴ نوبت دیگر عملیات شبیه‌سازی با تکرار ۱۰۰ دفعه در هر نوبت شبیه‌سازی انجام شد و در هر نوبت، میانگین نتایج ۵ تکرار توسط هر روش اولویت‌بندی که مربوط به اختلاف بین هزینه دیرکرد و سود زودکرد است، محاسبه شد که خلاصه نتایج به شرح جدول۴ است:

**جدول ۴ نتایج آماری ۵ بار شبیه‌سازی**

| روش | تعداد | میانگین | حداقل | حداکثر |
|---|---|---|---|---|
| FIFO | ۵ | ۹۶۴/۸۰ | ۹۵۵ | ۹۷۲ |
| LIFO | ۵ | ۹۰۳/۴۰ | ۸۹۴ | ۹۱۰ |
| SPT | ۵ | ۹۶۹/۲۰ | ۹۶۴ | ۹۷۴ |
| LPT | ۵ | ۸۶۸/۲۰ | ۸۵۹ | ۸۷۵ |
| EDD | ۵ | ۹۳۱/۲۰ | ۹۲۷ | ۹۳۵ |
| CR | ۵ | ۸۹۴/۰۰ | ۸۹۰ | ۹۰۰ |
| SLACK | ۵ | ۹۱۸/۲۰ | ۹۱۰ | ۹۲۵ |
| Total | ۳۵ | ۹۲۱/۲۹ | ۸۵۹ | ۹۷۴ |

قبل از بررسی تحلیل واریانس نیاز به بررسی نرمال بودن داده‌ها و همگونی واریانس نمونه‌ها می‌باشد.

نتایج جدول ۵ مربوط به بررسی نرمال بودن داده‌ها می‌باشد:

**جدول ۵ آزمون نرمال بودن داده‌ها**

| | روش | Shapiro-Wilk | | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sig. | df | Statistic | Sig. | df | Statistic |
| محاسبه تابع هدف بر اساس روش | FIFO | ۰/۵۷۷ | ۵ | ۰/۹۲۷ | ۰/۲۰۰ | ۵ | ۰/۲۲۱ |
| | LIFO | ۰/۶۹۶ | ۵ | ۰/۹۴۴ | ۰/۲۰۰ | ۵ | ۰/۱۹۸ |
| | SPT | ۰/۹۴۵ | ۵ | ۰/۹۸۲ | ۰/۲۰۰ | ۵ | ۰/۱۶۰ |
| | LPT | ۰/۷۴۴ | ۵ | ۰/۹۵۵ | ۰/۲۰۰ | ۵ | ۰/۲۱۷ |
| | EDD | ۰/۵۴۴ | ۵ | ۰/۹۲۲ | ۰/۲۰۰ | ۵ | ۰/۲۴۳ |
| | CR | ۰/۶۲۷ | ۵ | ۰/۹۳۵ | ۰/۲۰۰ | ۵ | ۰/۲۰۰ |
| | SLACK | ۰/۹۳۱ | ۵ | ۰/۹۷۹ | ۰/۲۰۰ | ۵ | ۰/۱۵۴ |

با توجه به آنکه مقدار به‌دست‌آمده برای سطح معنی داری مقداری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها دارای توزیع نرمال در هر روش تصمیم‌گیری هستند.

در جدول ۶ که مربوط به برابری واریانس نمونه‌هاست، با توجه به مقدار به‌دست‌آمده برای سطح معنی داری برابر ۰/۱۱ و مقداری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است، لذا می‌توان نتیجه گرفت که واریانس نمونه‌ها همگن هستند.

**جدول ۶ آزمون همگونی واریانس‌ها**

| FV | | | |
|---|---|---|---|
| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
| ۱/۱۳۸ | ۶ | ۲۸ | ۰/۳۶۷ |

با توجه به همگنی واریانس نمونه‌ها و نرمال بودن داده‌ها، آنالیز واریانس، به‌منظور بررسی تساوی میانگین، بر روی داده‌های بالا انجام گرفته است:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$

$H_1$ : حداقل یکی از میانگین‌ها با بقیه متفاوت است

با توجه به جدول ۷، ازآنجایی‌که مقدار .Sig کوچک‌تر از ۰/۰۵ است، بنابراین فرض صفر رد شده و بین میانگین‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

**جدول ۷ تحلیل واریانس**

| | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F | سطح معنی داری |
|---|---|---|---|---|---|
| بین گروه‌ها | ۴۰۸۹۷/۹۴۳ | ۶ | ۶۸۱۶/۳۲۴ | ۲۳۱/۸۴۸ | ۰/۰۰ |
| درون گروه‌ها | ۸۲۳/۲۰۰ | ۲۸ | ۲۹/۴۰۰ | | |
| مجموع | ۴۱۷۲۱/۱۴۳ | ۳۴ | | | |

به‌منظور دسته‌بندی گروه‌های متفاوت از روش توکی استفاده‌شده که نتایج زیر (جدول ۸) به‌دست‌آمده است:

**جدول ۸ دسته‌بندی روش‌های اولویت‌دهی به روش توکی**

| روش | تعداد | Subset for alpha = 0.05 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۱ | ۲ | ۳ | 4 | 5 |
| LPT | ۵ | ۸۶۸/۲۰ | | | | |
| CR | ۵ | | ۸۹۴/۰۰ | | | |
| LIFO | ۵ | | ۹۰۳/۴۰ | | | |
| SLACK | ۵ | | | ۹۱۸/۲۰ | | |
| EDD | ۵ | | | | ۹۳۱/۲۰ | |
| FIFO | ۵ | | | | | ۹۶۴/۸۰ |
| SPT | ۵ | | | | | ۹۶۹/۲۰ |
| Sig. | | ۱/۰۰۰ | ۰/۱۲۵ | ۱/۰۰۰ | ۱/۰۰۰ | ۰/۸۵۴ |

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، پنج گروه ایجادشده است و ازآنجایی‌که تابع هدف بر مبنای هزینه دیرکرد منهای سود زودکرد است، لذا گروه

اول که تنها دارای یک عضو و آن روش LPT است، دارای کمترین مقدار است و موردپذیرش قرار می‌گیرد. سایر روش‌ها ازلحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌داری با گروه اول هستند.

## ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به آنکه مسئله تولید کارگاهی در حالت قطعی و ایستا با بیش از دو ماشین دارای پیچیدگی بالایی است و واردکردن عوامل ایجاد عدم قطعیت بر پیچیدگی مسئله می‌افزاید، لذا مسئله تعیین اولویت انجام چند پروژه در گروه‌های پژوهشی نیز مسئله‌ای با پیچیدگی بالاست. بر این اساس، با استفاده از فن‌های معمولی تحقیق در عملیات نمی‌توان اقدام به مدل‌سازی و یافتن جواب بهینه برای این مسئله نمود. اکثر مسائلی که در این زمینه مدل‌سازی شده‌اند، با استفاده از فرض‌های محدودکننده اقدام به ساده‌سازی مسئله کرده‌اند که این امر باعث فاصله گرفتن از حالات واقعی می‌شود. به‌منظور بررسی شبیه‌سازی به‌عنوان یک روش جهت بهینه‌سازی در چنین مسائلی، ابتدا مدل ریاضی مسئله تعیین توالی انجام پروژه‌ها در گروه‌های پژوهشی باهدف حداقل نمودن توابع هدف هزینه زودکرد و سود دیرکرد بیان شد. در ادامه، مدل شبیه‌سازی مسئله با کمک نرم‌افزار Arena14 طراحی و با یک مثال عددی موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. توالی نزدیک به بهینه به‌منظور حداقل نمودن تابع هدف هزینه دیرکرد منهای سود زودکرد با کمک نرم‌افزار SPSS24 و آنالیز واریانس مشخص شد. نتایج نشان داد اولویت‌بندی پروژه‌ها در گروه‌های پژوهشی با روش LPT دارای کمترین هزینه بوده و ازلحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با سایر روش‌های اولویت‌دهی دارد. استفاده از شبیه‌سازی می‌تواند علاوه بر زمان‌بندی تولید کارگاهی در سایر فرایندهای تولیدی نظیر Flow Shop و... نیز مورداستفاده قرار گیرد. همچنین برای زمان‌بندی مسائل حمل‌ونقل زمینی و هوایی نیز می‌توان از این فن استفاده نمود.

## ۶- منابع

[1] Pinedo, M., *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems Third Edition*, ed. T. Edition. 2012: springer.

[2] Sajadi, S.M., Tavan, F. and Heidary Dahooie, J., *Business Processes Design of Small and Medium Enterprises of Perishable Items in order to Determination of Optimum Production Policy with Simulation Approach.* The Modares Journal of Management Research in Iran, 2015. 19(3): p. 7-35.

[3] shahbazi, s., Sajadi, S.M. and Jolai, F., *A simulation model for managing the process of implementing projects related to new product development in R&D centers.* Iranian Journal of Engineering Education, 2017. 19(75):p.151-166

[4] Maleki, A., Sajadi, S.M. and Rezaee, B., *Explanation and Improvement Performance Indicators of the Emergency System Using Discrete Event Simulation (Case Study: Arak Imam Khomeini Hospital).* 2014,: p.13

[5] shahbazi, s., Sajadi, S.M. and Jolai, F., *A Simulation-Based Optimization Model for Scheduling New Product Development Projects in Research and Development Centers.* Iranian Journal of Management Studies, 2017. 10(4): p. 883-904

[6] Sajadi, S.M., Esfahani, M.M.S. and Sörensen, K., *Production control in a failure-prone manufacturing network using discrete event simulation and automated response surface methodology.* The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011. **53**(1-4): p. 35-46

[7] Hashim, S.A.M., *SIMULATION FOR REDUCING ENERGY CONSUMPTION OF MULTI CORE LOW VOLTAGE POWER CABLE MANUFACTURING SYSTEM.* Journal on Technical and Vocational Education, 2017.(2).:p.55

[8] Sharma, S.K., Suraj, B., and Routroy, S., *Positioning of Inventory in Supply Chain Using Simulation Modeling.* 2017.p.68

[9] Teles, J., Lopes, R.B. and Ramos, A.L., *A Simulation-Based Analysis of a Cork Transformation System*, in *Engineering Systems and Networks: The Way Ahead for Industrial Engineering and Operations Management*, M. Amorim, et al., Editors. 2017, Springer International Publishing: Cham. p.3-11

[10] Rane, A.B., et al., *Improving performance of lock assembly line using lean and simulation approach.* International Journal of Business Performance Management, 2017. (۱): p.101-124

[11] Bhattacharyya, R., Kumar, P. and Kar, S., *Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects.* Computers & Mathematics with Applications, 2011. (10): p. 3857-3870

[12] Zhang, W.-G., et al., *Evaluating methods of investment project and optimizing models of portfolio selection in fuzzy uncertainty*. Computers & industrial engineering, 2015. 61(3): p.721-728

[13] ghafoori, s. and taghizadeh yazdi, m., *Proposing a Multi-Objective Mathematical Model for RCPSP and Solving It with Firefly and Simulated Annealing algorithms.* Modern Research in Decision Making, 2017. 1(4): p.117-142

[14] Mottaghi, H. and Ghadrdan, A., *Reduction of lead-time Production by Using Value Stream Mapping and Simulation.* The Modares Journal of Management Research in Iran, 2014. 18(4): p.161-181

[15] Blackstone, J.H., Phillips, D.T. and Hogg, G.L., *A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations.* The International Journal of Production Research, 1982. 20(1): p.27-45

[16] Azadivar, F. *Simulation optimization methodologies*. in *Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation---a bridge to the future-Volume* 1. 1999. ACM.

[17] Klemmt, A., et al. *Investigation of modified heuristic algorithms for simulation-based optimization*. in *Electronics Technology, 30th International Spring Seminar on*. 2007. IEEE.