

شبیه‌سازی فازی در شرایط عدم اطمینان

عادل آذر^۱، سمانه سقالرزاده^۲، علی رجب‌زاده^۳

چکیده: این نوشتار، ترکیب نظریه مجموعه‌های فازی با شبیه‌سازی گسسته - پیشامد را مطرح کرده و آن را برای مدل‌سازی مدت‌زمان نامطمئن فعالیت در شبیه‌سازی یک سیستم واقعی، به کار می‌گیرد. هدف این مقاله، ارزیابی سودمندی شبیه‌سازی فازی برای مدل‌سازی مدت‌زمان نامطمئن فعالیت است؛ به‌ویژه زمانی که داده نمونه‌ای موجود نبوده یا داده‌های موجود کافی نباشند. در این پژوهش، برای توصیف مدت‌زمان نامطمئن فعالیت‌ها از اعداد فازی استفاده شده که بیانگر ابهام، عدم دقت و ذهنیت‌گرایی در تخمین آنهاست. ابتدا یک مدل شبیه‌سازی بر مبنای رویکرد کلاسیک (مبتنی بر توابع توزیع احتمال) طراحی شده و سپس با استفاده از مدت‌زمان‌های تخمینی خبرگان، به صورت مدل فازی درمی‌آید. چند مدل شبیه‌سازی نیز بر مبنای تعدادی از توابع توزیع احتمال رایج، طراحی شده و نتایج آنها با نتیجه مدل شبیه‌سازی فازی مقایسه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که اول خروجی‌های شبیه‌سازی فازی، تنها با یک مرتبه اجرای شبیه‌سازی گسسته - پیشامد فازی قابل حصول است و دوم اینکه بازه خروجی‌های شبیه‌سازی فازی، نتایج حاصل از چندین مرتبه اجرای مدل‌های مبتنی بر توابع توزیع احتمال را در بردارد. بنابراین، شبیه‌سازی فازی، رویکرد پذیرفتنی برای نمایش سیستم واقعی به‌شمار می‌آید؛ به‌ویژه در شرایط عدم اطمینان که داده نمونه‌ای وجود نداشته یا داده‌های موجود ناکافی و غیرقابل اتکا هستند.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی گسسته - پیشامد فازی، مدل شبیه‌سازی، اعداد فازی، عدم اطمینان، مدت‌زمان فعالیت.

۱. استاد دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. استادیار دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۱/۰۴/۱۸

نویسنده مسئول مقاله: سمانه سقالرزاده

E-mail: samaneh_saghalorzadeh@yahoo.com

مقدمه

طراحی مدل شبیه‌سازی با رویکرد کلاسیک یا همان رویکرد مبتنی بر توابع توزیع با ورود داده‌هایی به مدل همراه است که در دو دسته کلی قرار می‌گیرند: یا داده‌های واقعی گردآوری شده هستند یا توزیع‌های احتمال منتج شده از آنها.

در کل استفاده از داده‌های واقعی در شبیه‌سازی، امری زمان‌بر بوده و مستلزم جمع‌آوری مقادیر فراوانی داده‌های میدانی است. در برخی موارد، به دلایلی مانند منحصربه‌فرد بودن یا نبودن مورد شبیه‌سازی، عدم همکاری افراد مسئول از در اختیار گذاردن اطلاعات یا نبود زمان یا نیروی انسانی کافی برای جمع‌آوری داده در سطحی گسترده، ممکن است با داده‌هایی روبه‌رو شویم که از کیفیت، کمیت و تنوع کافی برخوردار نیستند و در نتیجه این امکان وجود دارد که برخی خصوصیت‌های دنیای واقعی در این داده‌های محدود، منعکس نشوند. در چنین شرایطی، اغلب به تخمین پارامترها توسط متخصصان یا خبرگان مجرب روی آورده می‌شود که با توجه به ماهیت تخمین، موجب پدید آمدن ذهنیت‌گرایی، ابهام و عدم‌دقت در پارامترهای تخمینی می‌شود.

حال اگر داده‌ها در سطحی وسیع و با تعداد زیاد گردآوری شده باشند و بخواهیم از توزیع‌های احتمال برازش شده برای این داده‌ها در مدل شبیه‌سازی استفاده کنیم، صرف نظر از پیچیده بودن تعریف توابع توزیع از دیدگاه نظری و هزینه‌بر بودن آن از دیدگاه محاسباتی، ممکن است نیکویی برازش بین داده‌ها و توزیع‌ها ضعیف باشد و باز هم به ذهنیت‌گرایی در انتخاب توزیع‌ها و تخمین پارامترهای مربوطه، منجر شود (Zhang et al., 2005).

در این مقاله شبیه‌سازی یک فرایند تولید با رویکرد فازی انجام می‌شود، بدین معنا که از نظرات کارشناسان و خبرگان در مورد مدت‌زمان انجام فعالیت در فرایند تولید، به‌عنوان داده در مدل شبیه‌سازی استفاده می‌شود و نتایج آن با شبیه‌سازی کلاسیک - که از توابع توزیع احتمال استفاده می‌کند - مقایسه می‌شود. هدف، یافتن پاسخ این پرسش است که در موارد کمبود داده و اطلاعات که استفاده از شبیه‌سازی کلاسیک را دشوار می‌کند، به‌کارگیری شبیه‌سازی با رویکرد فازی - که آن را شبیه‌سازی فازی یا امکانی می‌نامیم - می‌تواند ما را به نتایج قابل قبولی رهنمون کند یا خیر.

مورد مطالعه در این نوشتار، فرایند تولید شرکت مالیبل سایپا است که مدل شبیه‌سازی بر مبنای آن طراحی می‌شود. سپس با استفاده از نظرات خبرگان در قالب عبارات کلامی، مدت‌زمان فعالیت به‌شکل عدد فازی وارد مدل شده و مدل شبیه‌سازی فازی تشکیل می‌شود. درنهایت با فرض قرار دادن برخی از توابع توزیع احتمال رایج برای مدت‌زمان فعالیت، چند مدل شبیه‌سازی

احتمالی طراحی شده و نتایج آنها با نتیجه مدل فازی مقایسه می‌شود. در بخش دوم خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در این زمینه بیان می‌شود. بخش سوم به شمایی کلی از فعالیت شرکت مالییل سایپا و محصولات آن می‌پردازد و روش پژوهش شرح داده می‌شود. در بخش چهارم طراحی مدل‌های شبه‌سازی ارائه می‌شود. در بخش پنجم اجرای مدل‌ها و در بخش ششم تحلیل نتایج حاصل از اجرای آنها تشریح می‌شود. بخش هفتم نیز به نتیجه‌گیری نهایی از این پژوهش اختصاص دارد.

پیشینه پژوهش

شبه‌سازی عبارت است از ایجاد ساختگی تاریخچه یک سیستم واقعی و بررسی آن به منظور دستیابی به نتایجی در مورد ویژگی‌های عملکرد آن سیستم در شرایط واقعی. شبه‌سازی با ایجاد مدل شبه‌سازی به بررسی رفتار یک سیستم با گذشت زمان می‌پردازد. این مدل به شکل مجموعه‌ای از فرض‌ها در مورد عملکرد آن سیستم است که در چارچوب روابط ریاضی، منطقی و نمادین بین نهادها یا اهداف مورد نظر سیستم بیان می‌شوند. با ایجاد و اعتبارسنجی مدل شبه‌سازی می‌توان آن را هم به منزله ابزار تحلیل برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات در سیستم‌های موجود و هم به عنوان ابزار طراحی برای پیش‌بینی عملکرد سیستم‌های جدید در دست طراحی به کار برد (بنکس و کارسن، ۱۳۸۴).

انواع محیط حاکم بر سیستم‌ها را می‌توان در بازه‌ای از اطمینان کامل تا عدم اطمینان کامل در نظر گرفت. هر چه از محیط اطمینان کامل به سمت محیط عدم اطمینان کامل حرکت می‌کنیم، از درجه شفافیت محیط و قابلیت شناسایی پارامترهای آن کاسته می‌شود. نظریه مجموعه‌های فازی، روش ریاضی مناسبی را برای توصیف و برطرف کردن مشکل ابهام و نادقیق بودن این پارامترها فراهم می‌کند. از دیدگاه منطق فازی، پدیده‌های واقعی همواره فازی، مبهم و غیردقیق هستند. منطق فازی نظام کاملاً منطقی را در خدمت زبان طبیعی قرار می‌دهد و به کمک آن، می‌توان پدیده‌های واقعی توصیف شده با زبان طبیعی و عبارات کلامی را با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی و در قالب اعداد فازی که تعمیم اعداد معمولی یا قطعی هستند، بیان کرد (آذر و فرجی، ۱۳۸۶).

تاکنون مطالعات متعددی انجام پذیرفته است که در آنها نظریه مجموعه‌های فازی، اعداد و توابع فازی، به گونه‌ای موفقیت‌آمیز در حوزه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی و برای نشان دادن داده‌های سختی همچون زمان‌های پردازش، تاریخ‌های سررسید، تقاضا، هزینه و مانند آن، به کار گرفته شده است. از جمله پژوهش تورکسن (۱۹۹۹) که به مقایسه رویکردهای قطعی و فازی در زمینه

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید می‌پردازد یا مطالعه لیتویو (۲۰۰۰) که زمان‌بندی را در شرایطی که هم زمان سررسید و هم زمان پردازش، فازی هستند، مورد توجه قرار داده است. برخی دیگر از پژوهشگران بر عدم اطمینان و اثرات آن بر تحلیل شبکه، مدیریت پروژه و فنون مختلفی مانند، روش مسیر بحرانی (CPM) و فن ارزیابی و بازنگری پروژه (PERT)، تمرکز داشته‌اند. مانند شاناس یا کیم که به موضوع تجزیه و تحلیل مسیر بحرانی با عدم اطمینان از نوع مدت‌زمان فازی فعالیت یا وجود چند تاریخ سررسید پرداخته‌اند (Kim and de la Garza, 2005; and Zielinski, 2001 Chanas). مطالعاتی نیز وجود دارند که نظریه فازی را در مدیریت تولید به کار گرفته‌اند. مانند پژوهش گوئیفریدا و ناگی (۱۹۹۷) در مورد کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی در مدیریت تولید (Guiffreda & Nagi, 1997) یا پژوهش فیچرا که طی آن، برنامه‌ریزی امکانی را برای برنامه‌ریزی جامع تولید با اطلاعات مبهم به کار می‌گیرد (Fichera et al., 1999). اما دسته دیگر، مطالعاتی هستند که به استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی در مدل‌سازی و شبیه‌سازی، برای مدیریت محیط‌های تولیدی پرداخته‌اند. برای مثال کوپرز (۱۹۹۴)، مدل‌سازی و شبیه‌سازی را در مواردی که دانش موجود ناکامل است و هالرمایر (۱۹۹۷) در شرایط مواجهه با سیستم‌های دارای عدم اطمینان، به کار گرفته‌اند. برخی نیز مانند پژوهش هنس (۲۰۰۳)، روش‌هایی برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل سیستم‌های دارای پارامترهای فازی ارائه کرده‌اند. برخی از محققان نیز به‌طور خاص به مدل‌های شبیه‌سازی گسسته - پیشامد و وارد کردن عناصر عدم اطمینان و فازی به آنها پرداخته‌اند. مطالعه ژانگ در مورد کاربرد منطق فازی برای شبیه‌سازی عملیات ساختمانی (Zhang et al., 2003) و نیز، پژوهش پتروویچ که به مدل‌سازی و شبیه‌سازی فازی یک زنجیره تأمین در محیط عدم اطمینان پرداخته است (Petrovic, 1998)، از دسته پژوهش‌های کاربردی در زمینه به‌کارگیری شبیه‌سازی فازی به‌شمار می‌روند.

در میان مطالعات داخلی نیز مواردی را می‌توان یافت که نسبت به پیاده‌سازی شبیه‌سازی در مؤسسه‌ها تولیدی و خدماتی اقدام کرده‌اند. مانند پژوهشی که در آن به طراحی مدل صف و شبیه‌سازی واحد حمل و نقل داخلی شرکت ایران خودرو پرداخته است (مشکوری، ۱۳۸۲). در برخی موارد نیز از شبیه‌سازی برای تجزیه و تحلیل مسائل مختلف در سیستم‌های تولیدی و خدماتی بهره گرفته شده است. مانند استفاده از مدل شبیه‌سازی برای برنامه‌ریزی حمل و نقل فولاد مذاب در مجتمع فولاد (آزمون، ۱۳۷۴)، شبیه‌سازی با طراحی مدل صف به‌منظور بهینه‌سازی واحد نقلیه اورژانس (صفری، ۱۳۷۴)، طراحی سیستم تولیدی تکنولوژی گروهی

به کمک شبیه‌سازی (نورنگ، ۱۳۶۹) یا تجزیه و تحلیل کارایی سیستم تولیدی به کمک مدل‌های شبیه‌سازی (مبارکه، ۱۳۸۴).

به‌طور کلی می‌توان گفت، تمامی موارد به‌کارگیری شبیه‌سازی در مطالعات داخلی با رویکرد کلاسیک انجام شده‌اند؛ یعنی نمونه‌ای از مدل‌سازی که به ترکیب نظریه مجموعه فازی و شبیه‌سازی پرداخته یا به بیان ساده‌تر، شبیه‌سازی را به‌روش فازی مورد بررسی قرار داده یا به‌کار گرفته باشد، در ادبیات داخل کشور موجود نیست. در حوزه ادبیات بین‌المللی نیز می‌توان گفت، شمار مقاله‌ها و مطالعاتی که به موضوع شبیه‌سازی فازی فرایند تولید، به‌ویژه به‌منظور شبیه‌سازی مدت‌زمان فعالیت‌ها با استفاده از اعداد فازی پرداخته باشند، اندک است. هدف پژوهش پیش‌رو، ترکیب نظریه مجموعه فازی با شبیه‌سازی گسسته - پیشامد به‌منزله رویکردی برای بیان ذهنیت‌گرایی، ابهام یا عدم دقت در مدت‌زمان تخمینی فعالیت‌ها، برای حل برخی مشکلات مربوط به استفاده از توابع توزیع و طراحی مدل شبیه‌سازی برای یک سیستم واقعی است، به‌ویژه در شرایطی که یا داده‌های موجود ناکافی هستند و یا درکل داده نمونه‌ای وجود ندارد. در این پژوهش، اعداد فازی و به‌طور خاص عدد فازی مثلثی، برای توصیف مدت‌زمان نامطمئن فعالیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که این امر بازتاب‌کننده ابهام، عدم دقت و ذهنیت‌گرایی در تخمین آنهاست.

روش پژوهش

یکی از انواع روش‌های پژوهش براساس نحوه گردآوری داده‌های مورد نیاز، روش توصیفی است که در آن، پژوهشگر تلاش می‌کند تا آنچه را که هست، بدون هیچ‌گونه دخالت یا استنتاج ذهنی، گزارش داده و نتایج عینی از موقعیت کسب کند (نادری و همکاران، ۱۳۸۴). پژوهش پیش‌رو از نوع پژوهش‌های توصیفی است که در آن با توجه به اطلاعات موجود، به طراحی مدل شبیه‌سازی برای فرایند تولید در شرکت مورد مطالعه، یعنی مالیل سایپا می‌پردازد. همچنین به‌دلیل این‌که درصدد طراحی مدل شبیه‌سازی در شرایط فازی است، می‌توان این پژوهش را از نوع پژوهش‌های تحلیلی - ریاضی دانست.

هم‌اکنون فعالیت اصلی شرکت مالیل سایپا تولید قطعات خودرو است. ۹۰ درصد تولیدات آن محصولات چدنی است که طیف وسیعی در حدود ۵۰ نوع محصول را در بر می‌گیرد. از آنجایی‌که تعداد قطعات چدنی با توجه به اهداف پژوهش، به‌نسبت زیاد بوده و به پیچیده شدن بیش از حد نیاز مدل می‌انجامد، ناگزیر به‌گزینش از بین قطعات گردیدیم. بنابراین گروه محصولات چدن خاکستری با ۲۸ نوع قطعه، اولاً به‌دلیل دارا بودن بیشترین درصد ماده مذاب مصرفی و ثانیاً به‌علت در بر داشتن بیشترین تنوع محصول، از بین گروه‌های چهارگانه محصولات چدنی انتخاب

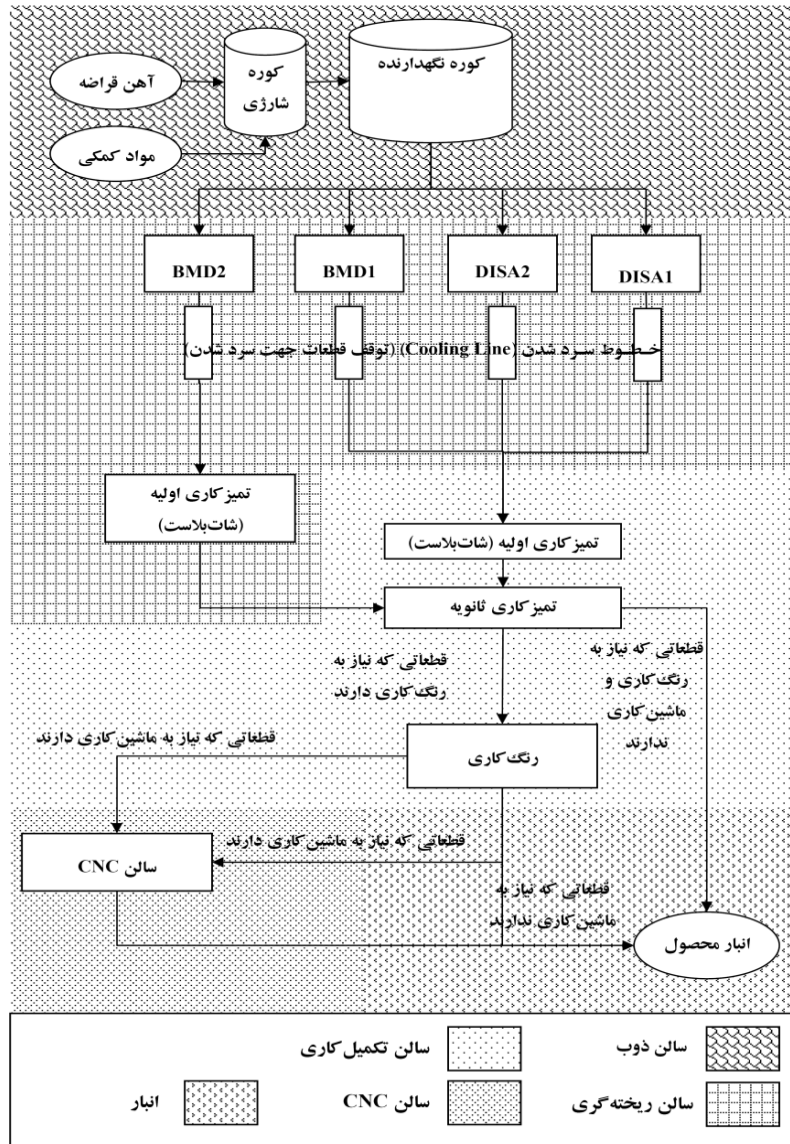
شد. سپس درصد مذاب مصرفی برای هر یک از این ۲۸ قطعه، به همراه درصد تجمعی آن برای قطعات چدن خاکستری محاسبه شد. پس از مرتب کردن این قطعات، به ترتیب بیشترین تا کمترین درصد مذاب مصرفی در آنها، مشاهده شد که ۹ قطعه نخست از بین این ۲۸ قطعه، ۸۰ درصد مذاب مصرفی در گروه چدن خاکستری را به خود اختصاص می‌دهند. در نتیجه این ۹ قطعه، براساس اصل پاره‌تو و قاعده ۸۰-۲۰، برای وارد شدن در مدل شبیه‌سازی انتخاب شدند. جدول شماره ۱، قطعات انتخابی و برخی اطلاعات مربوط به آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. قطعات انتخاب شده برای مدل‌سازی

تولید در شیف	تولید روزانه	تولید ماهانه	تولید سالانه	وزن به کیلوگرم	کد قطعه
۱۱۲	۳۳۵/۷۰۵۵۵۵۶	۱۰۰۷۱/۱۶۶۶۷	۱۲۰۸۵۴	۶/۱	۱
۱۱۹	۳۵۶/۱۰۲۷۷۷۸	۱۰۶۸۳/۰۸۳۳۳	۱۲۸۱۹۷	۸/۵۵	۲
۲۷۰	۸۱۰/۲۷۵	۲۴۳۰۸/۲۵	۲۹۱۶۹۹	۸/۸۶۹۹۹	۱۳
۴۸	۱۴۵/۱۶۳۸۸۸۹	۴۳۵۴/۹۱۶۶۶۷	۵۲۲۵۹	۱۲/۲۹۱	۱۴
۱۳۶	۴۰۷/۴۴۱۶۶۶۷	۱۲۲۲۳/۲۵	۱۴۶۶۷۹	۹/۶۵۱۹۹۹	۱۵
۹۶	۲۸۷/۸۴۴۴۴۴۴	۸۶۳۵/۳۳۳۳۳۳	۱۰۳۶۲۴	۸/۹۱	۱۶
۱۷۰	۵۱۰/۸۱۹۴۴۴	۱۵۳۲۴/۵۸۳۳۳	۱۸۳۸۹۵	۶/۹۸۶	۱۷
۴۴۲	۱۳۲۷/۲۱۹۴۴۴	۳۹۸۱۶/۵۸۳۳۳	۴۷۷۷۹۹	۴/۰۵۳	۲۳
۴۲	۱۲۷/۴۵۸۳۳۳	۳۸۲۳/۷۵	۴۵۸۸۵	۱۳/۴۶	۲۵
۱۴۳۵	۴۳۰۸/۰۳۰۵۵۶	۱۲۹۲۴۰/۹۱۶۷	۱۵۵۰۸۹۱	جمع	

گردآوری داده‌ها

گردآوری داده‌ها برای ساخت مدل شبیه‌سازی، با استفاده از ابزارهایی همچون مشاهده، مصاحبه و همچنین استفاده از مستندات تولیدی موجود، انجام گرفته است. **فرایند تولید:** مراحل فرایند تولید قطعات چدنی که اطلاعات آن با استفاده از مشاهده و مستندات موجود گردآوری شده، در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. فرایند تولید قطعات چدنی

داده‌های زمانی تولید: عملیات ذوب دارای زمان‌هایی است که مقادیر مشخصی برای آنها مفروض است. زمان‌های بین ورود مواد اولیه زمان‌هایی هستند که دارای مقدار مشخص نبوده و برای آنها توابع توزیع معینی مفروض است. داده‌های زمانی مربوط به فعالیت‌های موجود در سایر عملیات تولیدی نیز قطعی نیست، اما بدون توزیع احتمالی مشخص هستند و عبارتند از:

۸ ————— مدیریت صنعتی، دوره ۴، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۱

زمان‌هایی که با استفاده از مستندات زمان‌سنجی و کارسنجی موجود گردآوری شده‌اند. این داده‌های زمانی مربوط به فرایند، به غیر از فعالیت شات‌بلاست که در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهد شد، در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول ۲. داده‌های زمانی گردآوری شده

مرتب‌بندی زمان‌سنجی					کد قطعه	نام فعالیت
۵	۴	۳	۲	۱		
۱۴/۹۴	۱۵/۵۷	۱۶/۱۴	۱۵/۵۷	۱۴/۹۴	۱۶	ریخته‌گری ۱ DISA
۶/۸	۷/۲۵	۶/۸	۷/۹۴	۷/۲۵	۱۷	ریخته‌گری ۲ DISA
۵/۰۹	۵/۰۹	۵/۴۲	۵/۴۲	۵/۷۳	۲۳	
۱۴/۷۹	۱۴/۷۹	۱۵/۱	۱۴/۷۹	۱۴/۷۹	۲۵	
-	-	-	-	-	-	ریخته‌گری ۱ BMD
۸/۴۸	۹/۳	۸/۴۸	۸/۸۸	۸/۸۸	۱	ریخته‌گری ۲ BMD
۸/۴۸	۸/۸۸	۹/۳	۸/۴۸	۸/۸۸	۲	
۷/۴	۷/۴	۷/۰۶	۷/۸۲	۷/۰۶	۱۳	
۱۰/۵۹	۱۱/۰۹	۱۱/۷۵	۱۱/۰۹	۱۰/۵۹	۱۴	
۸/۴۸	۸/۸۸	۸/۴۸	۸/۸۸	۹/۳	۱۵	
-	-	۱۷۷	۱۸۳	۱۸۰	همه	سرد شدن
۲۷/۰۸	۲۷/۰۷	۲۷/۱	۲۷/۰۸	۲۷/۰۷	۱	سنگ‌زنی
۳۰/۷۵	۲۰/۷۴	۳۰/۷۵	۲۰/۷۴	۳۹/۱	۲	
۲۹/۵۷	۲۹/۶	۲۹/۵۷	۲۹/۵۶	۲۹/۵۶	۱۳	
۳۳/۴۹	۳۳/۴۷	۳۳/۴۸	۳۳/۴۷	۳۳/۴۸	۱۴	
۳۲/۳۳	۳۲/۳۴	۳۲/۳۵	۳۲/۳۴	۳۲/۳۳	۱۵	
۲۹/۵۸	۲۹/۵۶	۲۹/۵۶	۲۹/۵۷	۲۹/۵۷	۱۶	
۱۰/۸/۵۷	۱۰/۸/۵۹	۱۰/۸/۶	۱۰/۸/۵۷	۱۰/۸/۵۹	۱۷	
۱۵/۲۲	۱۵/۲۲	۱۵/۲۴	۱۵/۲۲	۱۵/۲۲	۲۳	
۴۲/۷۹	۴۲/۷۸	۴۹/۸۰	۴۲/۷۹	۴۲/۷۸	۲۵	
۳۹/۷۴	۳۹/۳۷	۳۹/۹۵	۳۹/۷۴	۳۹/۳۷	۲۵	
۳۳۳/۲۳	۳۸۶/۸۲	۴۲۱/۲	۳۳۳/۲۳	۳۸۶/۸۲	۲۳	ماشین‌کاری
۷۶۹	۷۴۵/۶	۷۴۵/۶	۷۲۲/۹۹	۷۲۹/۹۹	۲۵	
شرح فعالیت		نوع تابع توزیع		پارامترها		مقدار
ورود آهن قراضه به کوره		یکنواخت		۹۰ - ۱۲۰		-
انتظار برای ذوب		-		-		۳۷/۵
ورود مواد کمکی به خط ذوب		یکنواخت		۲۵۰ - ۳۶۰		-
مخلوط کردن مواد کمکی		-		-		۱۸/۷۵

آماده‌سازی اطلاعات برای استفاده در مدل

در مورد داده‌های زمانی غیرقطعی و بدون توزیع احتمال معین، لازم بود ابتدا آزمون‌های آماری نیکویی برازش برای تعیین تابع توزیع احتمالی حاکم بر آنها انجام پذیرد. بنابراین برخلاف سایر انواع داده‌های گردآوری شده، به جای استفاده مستقیم از آنها در ساخت مدل، توابع توزیع حاصل از انجام آزمون‌های نیکویی برازش به کمک نرم‌افزار Stategraphics Plus در ساخت مدل شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جدول شماره ۳، توابع توزیع حاصل از انجام این آزمون‌ها را برای عملیات مختلف فرایند تولید به همراه پارامترهای مربوطه نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر برازش شده برای مدت‌زمان عملیات مختلف

عملیات شات بلاست				عملیات ریخته‌گری				
پارامترها		تابع توزیع	کد قطعه	پارامترها			تابع توزیع	کد قطعه
۳	۱			۳	۲	۱		
۰/۴۵	۹/۰۳۷	نرمال لگاریتمی	۱	-	۰/۳۴۲	۸/۸۰۴	نرمال	۱
۰/۷۴۲	۱۰/۱۶۶	نرمال لگاریتمی	۲	-	۰/۳۴۲	۸/۸۰۴	نرمال	۲
۰/۷۸۸	۸/۷۷۸	نرمال لگاریتمی	۱۳	-	۰/۳۱۱	۷/۳۴۹	نرمال لگاریتمی	۱۳
۰/۹۶۵	۹/۵۷۷	نرمال	۱۴	-	۰/۴۷۳	۱۱/۰۲۴	نرمال لگاریتمی	۱۴
۱۹۹/۶۶۷	۹/۲۹۴	نرمال لگاریتمی	۱۵	-	۰/۳۴۱	۸/۸۰۴	نرمال	۱۵
۰/۷۸۸	۸/۷۷۸	نرمال لگاریتمی	۱۶	-	۰/۵۰۶	۱۵/۴۳۲	نرمال	۱۶
۱/۶۲۴	۲۱/۲۹۷	نرمال لگاریتمی	۱۷	-	۰/۴۵۹	۷/۲۱۱	نرمال لگاریتمی	۱۷
۰/۴۸۵	۳/۶۷	نرمال	۲۳	-	۰/۲۶۹	۵/۳۵	نرمال	۲۳
۱/۲۶۶	۱۳/۳۶	نرمال لگاریتمی	۲۵	۱۴/۶۲	۱۴/۷۹	۱۴/۷۹	مثلی	۲۵
عملیات رنگ‌کاری				سرد شدن قطعات				
پارامترها		تابع توزیع	کد قطعه	پارامترها			تابع توزیع	کد قطعه
۲	۱			۳	۲	۱		
۰/۵۰۹	۳۹/۲۳۴	نرمال	۲۵	-	۳	۱۸۰	نرمال	همه
عملیات ماشین‌کاری				عملیات سنگ‌زنی				
پارامترها		تابع توزیع	کد قطعه	پارامترها			تابع توزیع	کد قطعه
۳	۱			۳	۲	۱		
۳۸/۲۹۴	۳۷۲/۲۶	نرمال	۲۳	۳۷/۱	۳۷/۰۷	۳۷/۰۷	مثلی	۱
۱۹/۲۰۱	۷۴۱/۲۳۶	نرمال	۲۵	-	۷/۷۹۲	۲۸/۴۱۶	نرمال	۲
*۱- میانگین تابع توزیع نرمال یا نرمال لگاریتمی - حد پایین تابع توزیع مثلی ۲- انحراف معیار تابع توزیع نرمال یا نرمال لگاریتمی - حد میانی تابع توزیع مثلی ۳- حد بالای تابع توزیع مثلی				-	۰/۰۱۶	۲۹/۵۷۲	نرمال لگاریتمی	۱۳
				-	۰/۰۰۸	۳۳/۴۷۸	نرمال	۱۴
				-	۰/۰۰۸	۳۲/۳۳۸	نرمال	۱۵
				-	۰/۰۰۸	۲۹/۵۶۸	نرمال	۱۶
				-	۰/۰۱۳	۱۰۸/۵۸۴	نرمال	۱۷
				۱۵/۲۴	۱۵/۲۲	۱۵/۲۲	مثلی	۲۳
-	۰/۰۰۸	۴۲/۷۸۸	نرمال	۲۵				

طراحی مدل شبیه‌سازی

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار AweSim 3.0، نسبت به ساخت مدل شبیه‌سازی اقدام شد. برای دستیابی به اهداف پژوهش، چند مدل شبیه‌سازی ساخته شد که بخش عمده آنها مشابه با یکدیگر بوده و تنها در موارد جزئی با یکدیگر تفاوت دارند. در ادامه به تشریح این مدل‌ها می‌پردازیم.

مدل شبیه‌سازی کلاسیک

در ساخت این مدل شبیه‌سازی، مراحل فرایند تولید بر اساس شکل شماره ۱ به‌تصویر کشیده شده است. طراحی این مدل مطابق با رویکرد کلاسیک به شبیه‌سازی بوده و مدت‌زمان فعالیت‌ها از طریق توابع توزیعی که مطابق با جدول شماره ۳ برای آنها برازش شده است، تعریف می‌شود. این مدل، یک شیفت کاری برابر با ۸ ساعت را شبیه‌سازی می‌کند. واحد زمان در این مدل بر مبنای داده‌های جمع‌آوری شده، ثانیه در نظر گرفته شده است. ویژگی‌های نهادها که در مدل با عبارت ATRIB و شماره مربوط به هر ویژگی شناخته می‌شوند، در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. ویژگی‌های تعریف شده در مدل کلاسیک

تعریف	نشانه	تعریف	نشانه
وزن قطعه	ATRIB	کد قطعه	ATRIB
پارامترهای مدت‌زمان شات‌بلاست	ATRIB ATRIB	پارامترهای مدت‌زمان ریخته‌گری DISA ₁	ATRIB ATRIB
پارامترهای مدت‌زمان رنگ‌کاری	ATRIB ATRIB	پارامترهای مدت‌زمان ریخته‌گری DISA ₂	ATRIB ATRIB ATRIB
پارامترهای مدت‌زمان ماشین‌کاری	ATRIB ATRIB	پارامترهای مدت‌زمان سنگ‌زنی	ATRIB ATRIB ATRIB
میزان سفارش قطعه	ATRIB	پارامترهای مدت‌زمان ریخته‌گری BMD ₂	ATRIB ATRIB

این مدل را «کلاسیک» نامیده و پس از اعتبارسنجی، آن را مبنایی برای ساخت مدل‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌دهیم.

زمان یک شیفت کاری بر اساس فرضیه‌های ساخت مدل شبهه‌سازی برابر با ۸ ساعت است. با تبدیل این زمان به ثانیه (واحد زمانی در سیستم شبهه‌سازی شده) داریم:

$$8 \times 60 = 480 \quad \text{زمان یک شیفت کاری به دقیقه}$$

$$480 \times 60 = 28800 \quad \text{زمان یک شیفت کاری به ثانیه}$$

در نتیجه، میانگین زمان تکمیل فرایند مدل کلاسیک، برابر با $27766/4093$ ثانیه بوده و اختلاف آن با زمان یک شیفت کاری برابر است با:

$$28800 - 27766/4093 = 1033/5907 \quad \text{اختلاف با زمان یک شیفت کاری به ثانیه}$$

که این میزان برابر است با:

$$1033/5907 \div 60 = 17/23 \quad \text{اختلاف با زمان یک شیفت کاری به دقیقه}$$

با نظرخواهی از متخصصان و آگاهان مرتبط و با در نظر گرفتن زمان‌های هدر شده در سیستم واقعی، این اختلاف منطقی به نظر می‌رسد. به این ترتیب، با تأیید مدل «کلاسیک» به‌منزله‌نمایی مناسب از سیستم واقعی، این مدل مبنای ساخت سایر مدل‌های شبهه‌سازی قرار می‌گیرد.

مدل شبهه‌سازی قطعی

برای اینکه بتوانیم به‌گونه‌ای شفاف اثر فازی کردن زمان یک فعالیت را با حالتی که از تابع توزیع استفاده شود، مقایسه کنیم، می‌بایست سایر تغییرپذیری‌ها را از حوزه مطالعه دور کنیم. برای این امر، کلیه توابع توزیع تعریف‌شده برای زمان‌های فعالیت و زمان‌های بین ورود را از مدل «کلاسیک» حذف کرده و بنا به نوع توزیع آنها، مقدار قطعی متناسبی (مقدار میانگین برای توزیع‌های نرمال و نرمال لگاریتمی، حد میانی برای توزیع مثلثی و متوسط مقادیر کمینه و بیشینه برای توزیع یکنواخت) را جایگزین آن کردیم. در نتیجه مدلی با مقادیر و زمان‌های کاملاً قطعی به‌دست آمد که آن را مدل «قطعی» نامیدیم. این مدل از نظر ساختار و منطق پیشروی فرایند، به‌طور دقیق، همانند مدل «کلاسیک» ساخته شده و تنها مقادیر زمانی آن، قطعی و غیراحتمالی است. جدول شماره ۵، ویژگی‌های تعریف‌شده در مدل «قطعی» برای بیان ویژگی‌ها و نیز، مدت‌زمان فعالیت روی قطعات را در عملیات مختلف فرایند تولید شرکت مالیبل سایپا نشان می‌دهد.

مدل شبیه‌سازی فازی

اکنون نوبت آن رسیده است که مدت‌زمان فعالیت به‌صورت فازی تعریف شود. برخی از فعالیت‌های فرایند تولید مورد بررسی، به‌دست نیروی انسانی و به‌کمک ابزار انجام پذیرفته یا از طریق به‌کارگیری ترکیب نیروی انسانی با دستگاه‌ها و ماشین‌آلات انجام می‌گیرد. شات‌بلاست و سنگ‌زنی، دو فعالیتی هستند که در انجام آنها ترکیبی از نیروی انسانی با ابزار یا دستگاه‌ها و ماشین‌آلات دخیل است. با توجه به این نکته که در این پژوهش، به‌دنبال طراحی مدل شبیه‌سازی با رویکرد فازی بودیم، تصمیم گرفته شد که تعریف مدت‌زمان فازی برای چنین فعالیت‌هایی انجام پذیرد؛ چرا که تغییرپذیری مدت‌زمان در این‌گونه فعالیت‌ها از نوسان بیشتری برخوردار بوده و در نتیجه استفاده از فنون آماری در تعیین مدت‌زمان واقعی چنین فعالیت‌هایی با مشکلات بیشتری همراه است. پس این دو فعالیت، گزینه‌های مناسب‌تری برای تعریف مدت‌زمان با اعداد فازی هستند.

جدول ۵. ویژگی‌های تعریف شده در مدل قطعی

نشانه	شرح	نشانه	شرح
ATRIB	کد قطعه	ATRIB	وزن قطعه
ATRIB	مدت‌زمان ریخته‌گری DISA _۱	ATRIB	مدت‌زمان شات‌بلاست
ATRIB	مدت‌زمان ریخته‌گری DISA _۲	ATRIB	مدت‌زمان رنگ‌کاری
ATRIB	مدت‌زمان سنگ‌زنی	ATRIB	مدت‌زمان ماشین‌کاری
ATRIB	مدت‌زمان ریخته‌گری BMD _۲	ATRIB	میزان سفارش داده شده از قطعه

برای اینکه از پیچیده‌شدن مدل در حدی که خارج از اهداف پژوهش است، جلوگیری شود، یکی از این دو فعالیت، یعنی شات‌بلاست، نمونه‌فعالیتی انتخاب شد که در بخشی از آن، از ماشین‌آلات نیز استفاده می‌شود. قصد داریم مدت‌زمان انجام این فعالیت را با در نظر گرفتن شرایط عدم‌اطمینان، به‌صورت فازی بیان کنیم. بنابراین تنها مدت‌زمان فعالیت شات‌بلاست را در مدل «قطعی» به‌صورت فازی درآورده و باقی فعالیت‌ها را به‌همان شکل قطعی رها می‌کنیم تا بر تأثیرات ناشی از فازی‌شدن مدت‌زمان یک فعالیت متمرکز شویم. با توجه به توضیحات فوق،

داده‌های زمانی فعالیت شات‌بلاست با روشی متفاوت از سایر فعالیت‌ها گردآوری شد. بدین صورت که نسبت به نظرخواهی از خبرگان و آگاهان در مورد مدت‌زمان این فعالیت، اقدام و سپس سه مدت‌زمان، یعنی زودترین، ممکن‌ترین و دیرترین زمان شات‌بلاست از نتایج این نظرخواهی برای هر یک از قطعات، دریافت شد. این زمان‌ها به شرح جدول شماره ۶ است.

جدول ۶. اطلاعات نظرسنجی عملیات شات‌بلاست

کد قطعه	زودترین	ممکن‌ترین	دیرترین	کد قطعه	زودترین	ممکن‌ترین	دیرترین
۱	۸/۶	۹	۹/۵	۱۶	۸	۸/۷۳	۹/۵۷
۲	۹/۵	۱۰	۱۰/۹۷	۱۷	۱۹/۸	۲۱	۲۳/۰۳
۱۳	۸	۸/۷۳	۹/۵۷	۲۳	۳/۱۵	۳/۷۵	۴/۱۱
۱۴	۸/۶	۹/۶	۱۰/۵۳	۲۵	۱۲/۱	۱۳/۳	۱۴/۶۲
۱۵	۸/۷	۹/۱۴	۱۰/۰۲				

با استفاده از سه مقدار بیان شده برای هر یک از قطعات، می‌توان یک عدد فازی مثلثی را تشکیل داد. بدین ترتیب ۹ عدد فازی مثلثی به‌دست می‌آید. با قرار دادن مقادیر بازوی چپ اعداد فازی مثلثی برای مدت‌زمان فعالیت شات‌بلاست در مدل «قطعی»، مدل «بازوی چپ فازی» حاصل می‌شود. به‌همین ترتیب می‌توان مدل‌های «میان‌فازی» و «بازوی راست فازی» را نیز به‌دست آورد. این سه مدل با هم، مدل «فازی» را شکل می‌دهند. بنابراین تلفیق خروجی آنها، یک عدد فازی مثلثی است که مقادیر بازوی چپ، میان‌فازی و بازوی راست آن به‌ترتیب از سه مدل فوق به‌دست خواهد آمد.

مدل‌های شبیه‌سازی احتمالی

در این مرحله با انجام آزمون نیکویی برآزش روی داده‌های گردآوری شده برای عملیات شات‌بلاست، توزیع‌های مندرج در جدول شماره ۷ به‌دست می‌آید. با استفاده از پارامترهای این توابع، توزیع برای تعریف مدت‌زمان فعالیت شات‌بلاست در مدل «قطعی»، چهار مدل شبیه‌سازی «احتمالی - نرمال»، «احتمالی - نرمال لگاریتمی»، «احتمالی - مثلثی» و «احتمالی - یکنواخت» ساخته می‌شود که خروجی هر یک از آنها، یک عدد قطعی بوده و بیانگر مدت‌زمان تکمیل فرایند به‌ترتیب با فرض پذیرش توابع توزیع نرمال، نرمال لگاریتمی، مثلثی و یکنواخت، برای مدت‌زمان فعالیت شات‌بلاست است.

جدول ۷. نتایج برازش توابع توزیع برای عملیات شات بلاست

پارامترهای توزیع مثلثی				پارامترهای توزیع نرمال		
حد بالا	حد میانی	حد پایین	کد قطعه	انحراف معیار	میانگین	کد قطعه
۹/۵	۹/۰	۸/۶	۱	-/۴۵۰۹۲۵	۹/۰۳۳۳۳	۱
۱۰/۹۷	۱۰/۰	۹/۵	۲	-/۷۴۷۴۱۸	۱۰/۱۵۶۷	۲
۹/۵۷	۸/۷۳	۸/۰	۱۳	-/۷۸۵۶۴۲	۸/۷۶۶۶۷	۱۳
۱۰/۵۳	۹/۶	۸/۶	۱۴	-/۹۶۵۲۱۲	۹/۵۷۶۶۷	۱۴
۱۰/۰۲	۹/۱۴	۸/۷	۱۵	-/۶۷۲۱۱۱	۹/۲۸۶۶۷	۱۵
۹/۵۷	۸/۷۳	۸/۰	۱۶	-/۷۸۵۶۴۲	۸/۷۶۶۶۷	۱۶
۲۳/۰۳	۲۱/۰	۱۹/۸	۱۷	۱/۶۳۲۶۸	۲۱/۲۷۶۷	۱۷
۴/۱۱	۳/۷۵	۳/۱۵	۲۳	-/۴۸۴۹۷۴	۳/۶۷	۲۳
۱۴/۶۲	۱۳/۳	۱۲/۱	۲۵	۱/۲۶۰۴۸	۱۳/۳۴	۲۵
پارامترهای توزیع یکنواخت				پارامترهای توزیع نرمال لگاریتمی		
حد بالا	حد پایین	کد قطعه	انحراف معیار	میانگین	کد قطعه	
۹/۵	۸/۶	۱	-/۴۵۰۵۶۷	۹/۰۳۷۰۶	۱	
۱۰/۹۷	۹/۵	۲	-/۷۴۷۴۱۸	۱۰/۱۵۶۷	۲	
۹/۵۷	۸/۰	۱۳	-/۷۸۸۱۷۴	۸/۷۷۸۴	۱۳	
۱۰/۵۳	۸/۶	۱۴	-/۹۷۴۸۶۵	۹/۵۹۳۲	۱۴	
۱۰/۰۲	۸/۷	۱۵	-/۶۶۷۱۹۲	۹/۲۹۴۵۲	۱۵	
۹/۵۷	۸/۰	۱۶	-/۷۸۸۱۷۴	۸/۷۷۸۴	۱۶	
۲۳/۰۳	۱۹/۸	۱۷	۱/۶۲۴۵۹	۲۱/۲۹۷	۱۷	
۴/۱۱	۳/۱۵	۲۳	-/۴۹۹۷۸۲	۳/۶۸۱۵۲	۲۳	
۱۴/۶۲	۱۲/۱	۲۵	۱/۲۶۶۵۸	۱۳/۳۵۹۹	۲۵	

اجرای مدل‌های شبیه‌سازی

در این مرحله تمامی مدل‌های شبیه‌سازی شرح داده شده در بخش قبل، اجرا می‌شوند. در اجرای هر یک از این مدل‌ها، دستیابی به پایداری در نتایج اجرای مدل، معیار تعیین تعداد دفعات اجرا قرار گرفته است. هر گاه با تکرار اجرای یک مدل شبیه‌سازی، میزان تغییر ایجاد شده در میانگین کل نتایج به دست آمده از اجراهای آن مدل تا آن زمان، به کمتر از ۰/۱ ثانیه برسد، پایداری مورد

نظر در این پژوهش حاصل شده و در این صورت، این میانگین به‌منزله زمان اجرای مدل مورد بررسی، در نظر گرفته می‌شود. نتیجه اجرای مدل‌های شبیه‌سازی در جدول شماره ۸ آمده است.

جدول ۸. مدل‌های شبیه‌سازی طراحی شده

نام	شرح	تعداد اجرا	زمان تکمیل فرایند
کلاسیک	احتمالی	۱۵۰۲	۲۷۷۶۶/۴۰۹۳
قطعی	قطعی	۱	۲۷۸۷۶/۲۵۶۱۲
بازوی چپ فازی	قطعی با یک فعالیت فازی زودترین	۱	۲۷۸۷۴/۷۵۹۱۲
میانه فازی	قطعی با یک فعالیت فازی	۱	۲۷۸۷۵/۹۵۹۱۲
بازوی راست فازی	قطعی با یک فعالیت فازی دیرترین	۱	۲۷۸۷۷/۹۸۹۱۲
احتمالی - نرمال	قطعی با یک فعالیت نرمال	۶	۲۷۸۷۵/۰۷۷۱
احتمالی - نرمال لگاریتمی	قطعی با یک فعالیت نرمال لگاریتمی	۶	۲۷۸۷۵/۰۸۰۴۲
احتمالی - مثلثی	قطعی با یک فعالیت مثلثی	۹	۲۷۸۷۵/۶۵۴۶۹
احتمالی - یکنواخت	قطعی با یک فعالیت یکنواخت	۹	۲۷۸۷۵/۵۰۶۵۹

شایان ذکر است که دلیل یک بار اجرا شدن برخی از مدل‌ها، قطعی بودن تمام پارامترها در این مدل‌ها و در نتیجه تغییرناپذیری آنهاست. این امر موجب می‌شود که با هر بار تکرار اجرای آنها، به‌طور دقیق نتیجه اجرای قبلی به‌دست آید.

تحلیل نتایج اجرای مدل‌ها

با استفاده از نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها در بخش قبل، می‌توان به جمع‌بندی مندرج در جدول شماره ۹، در مورد نتایج قطعی و فازی اجرای مدل‌ها، دست یافت.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نتایج تمامی مدل‌های احتمالی در فاصله بین بازوی چپ و بازوی راست نتیجه مدل «فازی» قرار می‌گیرند. از این نکته می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که مدل شبیه‌سازی فازی، تمام تغییرپذیری‌های ناشی از انواع توابع توزیع احتمال به‌کار گرفته شده در مدل‌های احتمالی را پوشش می‌دهد. بنابراین در شرایطی که از مدت‌زمان فعالیت‌ها اطمینان نداشته باشیم (یعنی به‌دلیل وجود محدودیت‌هایی، تعریف تابع توزیع احتمال مطمئنی برای مدت‌زمان فعالیت‌ها مشکل باشد)، می‌توان در طراحی مدل شبیه‌سازی، از اعداد فازی به‌عنوان جایگزین خوبی برای توابع توزیع احتمال برای تعیین مدت‌زمان فعالیت‌ها استفاده کرد.

به گفته دیگر در چنین شرایطی، مدل شبیه‌سازی فازی جایگزین مناسبی برای مدل شبیه‌سازی با رویکرد کلاسیک (مبتنی بر توابع توزیع) است.

جدول ۹. نتایج قطعی و فازی اجرای مدل‌ها

زمان تکمیل فرایند			عدد قطعی	نوع مدل
عدد فازی مثلثی				
بازوی چپ	میانه	بازوی راست		
-	-	-	۲۷۷۶۶/۴۰۹۳	احتمالی
-	-	-	۲۷۸۷۶/۲۵۶۱۲	قطعی
۲۷۸۷۴/۷۵۹۱۲	۲۷۸۷۵/۹۵۹۱۲	۲۷۸۷۷/۹۸۹۱۲	-	فازی
-	-	-	۲۷۸۷۵/۰۷۷۱	احتمالی - نرمال
-	-	-	۲۷۸۷۵/۰۸۰۴۲	احتمالی - نرمال لگاریتمی
-	-	-	۲۷۸۷۵/۶۵۴۶۹	احتمالی - مثلثی
-	-	-	۲۷۸۷۵/۵۰۶۵۹	احتمالی - یکنواخت

برای سنجش میزان توانایی مدل‌های شبیه‌سازی فازی در پیش‌بینی وضعیت آتی سیستم، عدد فازی حاصل از آنها، یعنی مدت‌زمان فازی تکمیل فرایند تولید را به عددی قطعی تبدیل کرده و آنگاه با زمان تکمیل فرایند در سیستم واقعی مقایسه می‌کنیم. برای غیرفازی کردن نتیجه مدل فازی و در نتیجه محاسبه یک مقدار قطعی برای زمان تکمیل فرایند تولید، از رابطه شماره ۱ استفاده می‌کنیم.

$$T_m = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{6} \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقادیر a_1 ، a_2 و a_3 در این رابطه به ترتیب عبارتند از: بازوی چپ، میانه و بازوی راست عدد فازی مثلثی. با جای‌گذاری مقادیر در این رابطه، از مدل «فازی» مقداری قطعی برابر با ۲۷۸۷۶/۰۹۷۴۵ ثانیه به دست می‌آید. از آنجایی که در مدل «فازی ساخته شده، مدت‌زمان تمامی فعالیت‌ها به غیر از شات‌بلاست، قطعی هستند و مدل «قطعی» بیانگر رفتار سیستم واقعی با شرط قطعی بودن مدت‌زمان تمامی فعالیت‌ها است؛ مدل «قطعی» با مدت‌زمان تکمیل فرایندی برابر با ۲۷۸۷۶/۲۵۶۱۲ ثانیه، برای تعیین میزان توانایی شبیه‌سازی فازی در پیش‌بینی رفتار سیستم واقعی، مبنای مقایسه قرار می‌گیرد. نتیجه این مقایسه، اختلافی به میزان ۰/۱۵۸۶۷ ثانیه را نشان

می‌دهد. برای اثبات معنادار نبودن این اختلاف، با توجه به این نکته که دفعات اجرای مدل‌های «فازی» و «قطعی» بیش از یک بار نیست، امکان اجرای آزمون فرض وجود ندارد. بنابراین، تنها می‌توان به اندک بودن اختلافی حدود ۰/۱۵۸ ثانیه در برابر مدت‌زمان تکمیل فرایند حدود ۲۷۸۷۶ ثانیه استناد کرد. در نتیجه می‌توان گفت که شبیه‌سازی با رویکرد فازی، توانایی پذیرش در پیش‌بینی وضعیت آتی سیستم تولیدی را دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نبود یا کمبود اطلاعات صحیح و قابل اتکا در مورد فرایند، مشکلی است که بسیاری از کارخانه‌ها و مراکز تولیدی با آن روبه‌رو هستند؛ به‌ویژه زمانی که یک پروژه برای نخستین بار اجرا می‌شود و داده‌ای برای گردآوری وجود ندارد. این مسئله، استفاده از شبیه‌سازی را به‌عنوان یک ابزار توانمند پژوهش عملیاتی در تجزیه و تحلیل فرایند محدود می‌کند.

شبیه‌سازی فازی با به‌کارگیری داده‌های نامطمئن و نادقیق بیان شده با عبارات کلامی، آنها را در قالب اعداد فازی وارد مدل می‌کند. به بیان دیگر، به‌جای مدت‌زمان بیان شده توسط توزیع‌های احتمال، از مدت‌زمان فازی برای فعالیت استفاده می‌کند که آن نیز با به‌کارگیری اعداد فازی توصیف می‌شود. بنابراین شبیه‌سازی فازی می‌تواند بر مشکلات موجود در تهیه توابع توزیع بر مبنای داده‌های میدانی فائق آمده و ابهام‌ها، عدم‌دقت‌ها و ذهنیت‌گرایی در تخمین مدت‌زمان فعالیت را به‌حساب آورد. علاوه بر این، از یک سو شبیه‌سازی فازی، نیازمند تنها یک مرتبه اجرای شبیه‌سازی برای ایجاد خروجی است (برخلاف شبیه‌سازی مبتنی بر توابع توزیع که نیازمند چندین اجرای شبیه‌سازی است) و بر مبنای نتایج پژوهش حاضر، این خروجی فازی، نتایج حاصل از شبیه‌سازی کلاسیک با توابع احتمال را نیز در بر می‌گیرد. از سوی دیگر تعریف اعداد فازی در شبیه‌سازی فازی، بسیار آسان‌تر از برازش توابع توزیع برای شبیه‌سازی کلاسیک است. بنابراین می‌توان گفت که شبیه‌سازی فازی به‌نسبت ابزار کارآمدتری به‌شمار می‌رود.

در نتیجه، پیشنهاد می‌شود در مواردی که اطلاعات قابل اطمینان در دسترس نیست، به‌جای رویکرد کلاسیک، از رویکرد فازی به شبیه‌سازی استفاده شود. این امر موجب آسان‌تر و فراگیرتر شدن استفاده از شبیه‌سازی و بهره‌گیری از مزایای فراوان آن می‌شود. با وجود این باید توجه داشت که تنها زمانی می‌توان از مزایای شبیه‌سازی فازی بهره برد که نتوان به‌علت محدودیت‌های ذکر شده، شبیه‌سازی مبتنی بر توابع توزیع را مورد استفاده قرار داد.

باید اذعان داشت که استفاده از اعداد فازی برای بیان مدت‌زمان فعالیت، نیاز به مطالعات گسترده‌تر در ابعاد مختلف دارد. از جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- انجام مطالعات بیشتر در مورد استفاده از انواع دیگر اعداد فازی، به ویژه عدد فازی ذوزنقه‌ای برای توصیف مدت‌زمان فعالیت، طراحی مدل شبیه‌سازی فازی در شرایطی که مدت‌زمان تمامی فعالیت‌های فرایند با عدد فازی بیان شوند؛
- الگوریتم‌های جلو بردن ساعت شبیه‌سازی بر مبنای رتبه‌بندی اعداد فازی در شرایطی که مدت‌زمان فعالیت‌ها با استفاده از عدد فازی تعریف شده باشند؛
- ایجاد بسته‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی جدید با قابلیت تخصصی شبیه‌سازی فازی یا توسعه نرم‌افزارهای موجود برای سهولت طراحی مدل شبیه‌سازی با رویکرد فازی و نیز وارد کردن عامل هزینه، علاوه بر عامل زمان در مطالعات شبیه‌سازی به‌طور عام و در بررسی‌های مقایسه‌ای بین رویکردهای کلاسیک و فازی به شبیه‌سازی به‌طور خاص.

منابع

- آذر، ع. و فرجی، ح. (۱۳۸۶). *علم مدیریت فازی*، تهران: مؤسسه کتاب مهربان نشر.
- آزمون، ج. (۱۳۷۴). *برنامه‌ریزی حمل و نقل فولاد مذاب به وسیله پاتیل*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس.
- اسماعیلیان مبارکه، م (۱۳۸۴). *تجزیه و تحلیل کارایی سیستم تولیدی به کمک مدل شبیه‌سازی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس.
- بنکس، ج. و کارسن، ج. (۱۳۸۴). *شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته - پیشامد*، ترجمه هاشم محلوچی، تهران: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.
- صفری، س. (۱۳۷۴). *طراحی مدل صف برای بهینه‌سازی - واحد نقلیه اورژانس بیمارستان امام خمینی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس.
- مشکوری، م. (۱۳۸۲). *طراحی مدل صف و شبیه‌سازی واحد حمل و نقل داخلی شرکت ایران خودرو*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس.
- نادری، ع. و سیف نراقی، م. (۱۳۸۴). *روش‌های تحقیق و چگونگی ارزشیابی آن در علوم انسانی*، تهران: انتشارات بدر.
- نورنگ، ا. (۱۳۶۹). *طراحی سیستم تولیدی تکنولوژی گروهی به کمک شبیه‌سازی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس.

- Chanas, S. and Zielinski, P. (2001). Critical Path Analysis in the Network with Fuzzy Activity Times, *Fuzzy Sets and Systems*, 122, (2): 195-204.
- Fichera, S., La Spada, A., Perrone, G., Grasso, V., and La Commare, U. (1999). Possibilistic programming and Gas for aggregate production planning under vague information – recent development in the design and control of cold forming processes, in the Proceedings of AMST, 99: 485-492.
- Guiffrida, Al. and Nagi, R. (1997). Fuzzy Set Theory Application in Production Management Research: a Literature Survey, *Journal of International Manufacturing*, 9: 39-56.
- Hanss, M. (2003). The Extended Transformation Method for the Simulation and Analysis of Fuzzy-parameterized Models, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness Knowledge Based Systems*, 11(6): 711-727.
- Hüllermeier, E. (1997). An Approach to Modelling and Simulation of Uncertain Dynamical Systems, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness Knowledge Based Systems*, 5 (2): 117-137.
- Kim, K. & de la Garza, J.M. (2005). Critical Path Method with Multiple Calendars, *Construction Engineering and Management*, 131(1): 330-342.
- Kuipers, B. (1994). *Qualitative Reasoning: Modelling and Simulation with Incomplete Knowledge*, Cambridge, MIT Press.
- Litoiu, M. and Tadei, R. (2000). Real-time Scheduling with Fuzzy Deadlines and Processing Times, *Fuzzy Sets and Systems*, 117: 35-46.
- Petrovic, D., Roy, R. and Petrovic, R. (1998). Modelling and Simulation of a Supply Chain in an Uncertain Environment, *European Journal of Operational Research*, 109 (2): 299-309.
- Turksen, I.B., Fazel Zarandi, M.H. (1999). *Production Planning and Scheduling: Fuzzy and Crisp Approaches*, The Handbook of Fuzzy sets Series, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, PP. 479–530.
- Zhang, H., Tam, C.M. and Shi, J. (2003). Application of Fuzzy Logic to Simulation for Construction Operations, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 17(1): 38-45.

Zhang, H., Tam, C.M. and Heng, L. (2005). Modeling Uncertain Activity Duration by Fuzzy Number and Discret-event Simulation, *European Journal of Operational Research*, 164 (3): 715-729.