

مدل سازی تخمین تعداد بهینه تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی در شرایط عدم اطمینان (مطالعه موردی: صنعت نساجی)

بختیار استادی^{۱*}، ابوالفضل قربانی^۲، رضا مختاریان دلویی^۳

۱. استادیار مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه جامع امام حسین تهران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس تهران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۲۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده: ۹۸/۰۱/۲۱، تاریخ تصویب: ۹۸/۰۲/۰۲)

چکیده

در طراحی سیستم‌های صنعتی، تعیین تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی تأثیر بسزایی در هزینه‌های طراحی و ساخت دارد و به افزایش راندمان و بهره‌وری صنعت می‌انجامد. تاکنون روش‌های مختلفی برای تخمین تعداد منابع مورد نیاز فرایندهای عملیاتی ارائه شده است. قابلیت اطمینان نتایج این روش‌ها به برآورد اطلاعات ورودی بستگی دارد که در شرایط عدم اطمینان، ماهیت مبهمی دارد و می‌تواند منجر به ارائه اطلاعات غلط شود؛ از این رو هدف مطالعه حاضر، پیشنهاد چارچوب جدیدی برای تعیین تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی با بهره‌گیری از منطق فازی است. از روش مجموعه فازی برای تعیین درصد ضایعات و زمان مورد نیاز برای تکمیل فرایندهای عملیاتی در قالب اعداد فازی مثلثی استفاده شده است. همچنین به منظور اثبات کاربردی بودن مدل و با توجه به اهمیت ارتقای بهره‌وری در صنایع نساجی ایران، مدل پیشنهادی در یک مطالعه موردی از صنعت نساجی استفاده شده و مقایسه نتایج آن با نتایج روش استاندارد صورت گرفته است. براساس نتایج، تفاوت فراوانی میان تعداد تجهیزات و نیروی انسانی برآورد شده به کمک این روش با تعداد منابع برآورد شده از روش استاندارد وجود دارد که این اختلاف‌ها می‌تواند تأثیری منفی بر عملکرد و استفاده بهینه از ظرفیت ایجاد شده داشته باشد. با توجه به نتایج مدل پیشنهادی، اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری در شرایط عدم اطمینان فراهم شده است که می‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های مناسب در مورد بازنگری ظرفیت استفاده نشده، کاهش هزینه‌های منابع بی‌استفاده و افزایش کارایی و بهره‌وری صنایع کاربرد داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی، صنعت نساجی، عدم اطمینان، منطق فازی.

مقدمه

از مشکلات اساسی بیشتر صنایع نساجی، که خواسته یا ناخواسته در کنار محدودیت منابع پنهان مانده و کمتر به آن‌ها توجه شده است، سطح پایین بهره‌وری از عوامل تولید آن‌هاست. به عبارت دیگر، حتی با وجود محدودیت و کمیابی منابع در این صنایع، از منابع و امکانات تولیدی موجود نیز استفاده بهینه و کارا نشده است [۱].

سازمان‌ها از منابع بسیاری برای تولید محصولات استفاده می‌کنند که از مهم‌ترین آن‌ها نیروی انسانی، تجهیزات و ماشین‌آلات مناسب است؛ بنابراین افزایش بهره‌وری منابع انسانی و ماشین‌آلات و استفاده بهینه از آن‌ها، یکی از مهم‌ترین عواملی است که سبب بهبود و افزایش کارایی سازمان می‌شود. بدین صورت که ارتقای بهره‌وری سبب کاهش بهای تمام‌شده کالای تولیدی

پیشرفت سریع فناوری، توسعه روش‌ها و دیدگاه‌های جدید در دهه اخیر تحولات جدیدی را برای سازمان‌ها ایجاد کرده است؛ به طوری که ماهیت رقابت در همه بخش‌های تولیدی و خدماتی تغییرات زیادی داشته و ارائه محصولات با کیفیت بالا توأم با هزینه پایین به کلید بقا در اقتصاد جهانی امروز تبدیل شده است. امروزه افزایش بهره‌وری یکی از پیش شرط‌های اساسی ارتقای سطح رقابت‌پذیری بخش صنعت و موفقیت آن در شرایط رقابت فزاینده جهانی است. به همین دلیل، سازمان‌ها درصدد هم‌زمان با پیشرفت فناوری، سیستم‌ها، رویه‌ها، فرایندها و منابع خود را بهبود دهند و محصولات و تولیدات خود را به گونه‌ای فراهم کنند که ضمن افزایش مستمر کیفیت، با کاهش هزینه میزان سوددهی خود را افزایش دهند، اما در شرایط کنونی، یکی

مؤثرترین روش‌های کاهش عدم اطمینان است که می‌تواند نتایج دقیق‌تر و مناسب‌تری را در مقایسه با روش‌های استاندارد تخمین تعداد منابع مورد نیاز ارائه دهد؛ از این‌رو هدف این مطالعه، ارائه مدلی برای تخمین تعداد تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی بر مبنای منطق فازی و روش‌های استاندارد تخمین تعداد منابع عملیاتی است. در این مدل، تخمین تعداد منابع مورد نیاز بر مبنای روش استاندارد سولی صورت گرفته و به بررسی شرایط عدم اطمینان در این روش پرداخته شده است [۳]. در این مقاله، از منطق فازی برای جبران کمبود داده‌های قطعی در روش استاندارد تخمین منابع استفاده شده و مدل جدیدی برای تعیین کسر بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی مورد نیاز در شرایط عدم اطمینان ارائه شده است.

ادبیات پژوهش

کوپمن و بکمن نخستین افرادی بودند که به بررسی چیدمان تسهیلات^۱ پرداختند. آن‌ها این مسئله را مقوله رایج صنعتی می‌دانستند که هدف آن پیکربندی تسهیلات است. پس از آن به گونه‌ای به حل مسئله پرداختند که هزینه مواد حمل و نقل شونده بین تسهیلات حداقل شود [۴]. آزادی‌وار و وانگ نیز به بررسی تکنیک بهینه‌سازی تسهیلات با استفاده از الگوریتم‌های شبیه‌سازی و ژنتیک پرداختند که با توجه به ویژگی‌های پویا و محدودیت‌های عملیاتی قادر به حل مسئله طراحی تسهیلات براساس معیارهای عملکرد سیستم از قبیل زمان و بهره‌وری است [۵]. همچنین شایان و چیتاپیلی مکان‌یابی تسهیلات را به‌عنوان مسئله بهینه‌سازی تعریف کردند که با در نظر گرفتن تعاملات مختلف میان تسهیلات، تجهیزات و سیستم حمل و نقل مواد می‌تواند طرح استقرار را کارا تر کند [۶]. طلوعی و مجریان به توسعه مدلی برای جانمایی تسهیلات پرداختند. در این مطالعه، نویسندگان بر مدل‌سازی ریاضی و حل مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح به کمک روش‌های بهینه‌سازی تمرکز کردند. مدل توسعه داده شده برای حداقل‌سازی مجموع کل جریان و مسافت‌های حرکتی محصولات از یک دپارتمان به دپارتمان دیگر ارائه شده است [۷]. فتاحی و همکاران در پژوهشی به ارائه روشی ابتکاری برای تخصیص مناسب نیروی انسانی با مهارت‌های

به کمک کاهش هزینه متوسط تولید می‌شود و به افزایش میزان سودآوری محصولات نهایی در واحدهای تولیدی صنعت می‌انجامد. پیامد چنین تحولی، افزایش چشمگیر تقاضا و بیشتر شدن توان رقابت محصولات داخلی در مقابل محصولات خارجی است. این امر به توسعه تولید و استفاده از حداکثر ظرفیت‌های تولید منجر خواهد شد و در نتیجه حجم سرمایه‌گذاری‌های جدید صنعتی نیز افزایش خواهد یافت [۲]؛ از این‌رو تلاش برای بهبود و استفاده مؤثر و کارآمد از منابع گوناگون، مانند نیروی کار، سرمایه، تجهیزات، مواد، انرژی و اطلاعات، به منظور استفاده بهتر از منابع برای کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصولات ارائه شده، امری بسیار ضروری است.

تخمین تعداد نیروی انسانی و ماشین‌آلات مورد نیاز فرایندهای عملیاتی یکی از مهم‌ترین گام‌های طرح‌ریزی واحدهای صنعتی است که عاملی تأثیرگذار در بهره‌وری این منابع به‌شمار می‌رود؛ به‌طوری‌که انتخاب تعداد مناسب منابع مورد نیاز برای دستیابی به حجم تولیدی مورد تقاضا، از مهم‌ترین عوامل جلوگیری از اتلاف منابع و استفاده بهینه از منابع موجود است. تاکنون روش‌های متنوعی برای تخمین تعداد مناسب نیروی کار و ماشین‌آلات مورد نیاز فرایندهای عملیاتی ارائه شده است، اما باید تاحدی جانب احتیاط را در به‌کارگیری این روش‌ها نگاه داشت؛ زیرا این روش‌ها مشکلات و نواقصی دارد که سبب می‌شود استفاده از آن برای تعیین تعداد منابع مورد نیاز فرایندهای عملیاتی به‌طور کامل با رضایت همراه نشود. قابلیت اطمینان نتایج روش‌های تخمین تعداد تجهیزات و نیروی انسانی، به برآورد اطلاعات ورودی بستگی دارد که معمولاً به کمک مصاحبه، پرسشنامه، قضاوت یا استفاده از داده‌های تاریخی حاصل می‌شود؛ بنابراین ممکن است در شرایط عدم اطمینان، داده‌های ورودی نادرست باشد و به ارائه اطلاعات غلط منجر شود؛ زیرا بسیاری از قضاوت‌ها در شرایط عدم قطعیت صورت می‌گیرد و در مدل کمی جای ندارد. برای حل این مشکل، استفاده از رویکردی برای کاهش شرایط عدم اطمینان در روش‌های استاندارد تخمین تعداد تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز، به منظور برآوردهای بهتر و دقیق‌تر از تعداد منابع و افزایش قابلیت اطمینان از دقت و صحت نتایج، امری ضروری به‌شمار می‌آید. منطق فازی یکی از

- محاسبه زمان مورد نیاز برای فعالیت‌های تولیدی بر مبنای روش مجموعه فازی همراه با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت در زمان فعالیت‌ها؛
- تعیین درصد ضایعات هریک از فرایندهای عملیاتی در قالب اعداد فازی بر مبنای روش دلفی فازی؛
- امکان ارزیابی تأثیر شرایط عدم قطعیت در روش‌های استاندارد تخمین تعداد منابع مورد نیاز فرایندهای عملیاتی با استفاده از حداقل و حداکثر مقادیر ممکن به کمک روش اعداد فازی مثلثی؛
- کاربردی کردن مدل پیشنهادی و استفاده ابزاری از آن برای تخمین تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی مورد نیاز صنایع نساجی؛
- تعیین تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی بر مبنای آنالیزهای اقتصادی و در نظر گرفتن راهبردها و اهداف کلی واحدهای صنعتی.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر کاربردی و توصیفی و پیمایشی است و هدف آن توسعه دانش کاربردی در زمینه‌ای خاص است. همچنین به صورت میدانی انجام شده و به صورت موردی در محیط یک کارخانه نساجی در شهر مشهد صورت گرفته است.

تئوری مجموعه فازی

تئوری مجموعه فازی را لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد [۱۳]. این مجموعه براساس تابع عضویت بیان می‌شود که شامل مجموعه‌ای از عناصر با درجه‌های مختلف عضویت در مجموعه است. تابع عضویت $\mu(x)$ شامل درجه عضویت عنصر x در مجموعه فازی است که در بازه ۰ و ۱ مشخص می‌شود. در میان اشکال مختلف اعداد فازی، عدد فازی مثلثی ۲، محبوبیت بیشتری دارد. عدد فازی مثلثی A نیز به کمک سه پارامتر (a_s, a_M, a_L) مشخص می‌شود. a_M نشان‌دهنده بیشترین ارزش مورد انتظار و a_s و a_L نیز به ترتیب بیانگر کمترین و بزرگ‌ترین ارزش ممکن هستند. تابع عضویت عدد فازی مثلثی A با $\mu_A(x)$ مشخص می‌شود که به صورت رابطه ۱ است:

مختلف و بالانس کردن خط تولید با رویکرد حداقل‌سازی زمان سیکل پرداختند [۸]. مونگا و خورانا به مرور و بررسی جامع مفاهیم کلیدی در حوزه برنامه‌ریزی جانمایی تسهیلات پرداختند [۹]. همچنین ویتایاسک و پونگچارون الگوریتمی را برای بهینه‌سازی چیدمان ماشین‌آلات با در نظر گرفتن افزایش بهره‌وری تولید در حالتی که تقاضا با ماهیت عدم قطعیت همراه است طراحی کردند [۱۰]. ربانی و همکاران نیز به ارائه الگوریتمی کاربردی به منظور حل مؤثر و کارای مدل‌های ریاضی برنامه تولید پرداختند. این پژوهش در فضای عدم قطعیت و با در نظر گرفتن خرابی در محصولات دوباره کاری شده و خرابی ناگهانی ماشین‌آلات انجام شده است [۱۱]. زارعی مهرجردی و حیدری میبیدی در پژوهشی دیگر به بهینه‌سازی سناریوی محور مکان‌یابی تسهیلات پرداختند. در این پژوهش به دلیل ماهیت عدم قطعیت در پارامترهای تقاضای مشتریان و هزینه‌های حمل‌ونقل از روش‌های بهینه‌سازی استوار بهره گرفته شده است [۱۲].

نویسندگان مختلف تاکنون برای مسئله مکان‌یابی تسهیلات، مدل‌های متنوعی را ارائه کرده‌اند، اما آنچه مسلم است، تاکنون مطالعه‌ای با رویکرد بررسی شرایط عدم اطمینان در تخمین تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی انجام نشده و تنها تعداد تجهیزات و نیروی انسانی به صورت قطعی تعیین شده است. همچنین عاملی مهم برای طرح‌ریزی واحد صنعتی مدنظر به‌شمار می‌آید، اما از آنجا که فرایند جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای تخمین تعداد تجهیزات و نیروی انسانی، معمولاً به کمک مصاحبه و مشاهده انجام می‌شود، ممکن است در شرایط عدم اطمینان، داده‌های ورودی نادرست باشند و به عدم ارائه اطلاعات صحیح منجر شوند؛ از این رو در این مقاله، با در نظر گرفتن شرایط عدم اطمینان در این فرایند، به معرفی چارچوب جدیدی برای تعیین کسر بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی مورد نیاز با بهره‌گیری از منطق فازی پرداخته شد که شامل موارد زیر است:

- توسعه مدلی مبتنی بر منطق فازی برای تخمین تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی در شرایط عدم اطمینان؛

ارزش دارد که عبارت‌اند از: حداقل مقدار ممکن (SP)، محتمل‌ترین مقدار ممکن (MP) و حداکثر مقدار ممکن (LP). مقدار بیشترین محتمل (MP) ارزش و مقدار یکسانی با مقادیر ورودی روش برآورد تعداد تجهیزات و نیروی انسانی استاندارد و معمول دارد؛ بنابراین در این مرحله مقدار SP، MP و LP مربوط به زمان هریک از فرایندهای عملیاتی تخمین زده می‌شود. این مقادیر به ترتیب با T_{SPi} ، T_{MPi} و T_{LPi} نشان داده می‌شوند که بیانگر حداقل زمان ممکن (SP)، محتمل‌ترین زمان (MP) و حداکثر زمان ممکن (LP) برای عملیات i هستند.

$$T_{S_i} = (T_{SPi}, T_{MPi}, T_{LPi}) \quad (۲)$$

همچنین در این مرحله، درصد ضایعات مربوط به هریک از فرایندهای عملیاتی تعیین می‌شود. روش دلفی فازی برای تخمین درصد ضایعات فرایندهای عملیاتی در قالب اعداد فازی مثلثی کاربرد دارد. ویژگی مهم این روش ارائه چارچوبی انعطاف‌پذیر است که بسیاری از موانع مربوط به عدم دقت و صراحت را پوشش می‌دهد. این روش را کافمن و گوپتا در سال ۱۹۸۸ ارائه دادند [۲۱]. روش دلفی فازی شامل گروهی از کارشناسان است که به‌طور ناشناس به پرسشنامه‌ها پاسخ می‌دهند و پس از آن در قالب نمایش آماری از واکنش گروه، بازخوردها دریافت می‌شود و این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که همگی به یک اجماع دست یابند. مراحل اجرایی روش دلفی فازی به شرح زیر است:

۱. کارشناسان برآوردهای خود را در قالب حداقل مقدار، ممکن‌ترین مقدار و حداکثر مقدار (اعداد فازی مثلثی) ارائه می‌دهند.

$$A_i = (a_{SP}^{(i)}, a_{MP}^{(i)}, a_{LP}^{(i)}) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (۳)$$

۲. پاسخ‌های n کارشناس، دسته‌ای را شکل می‌دهند. سپس با استفاده از تکنیک‌های میانگین‌گیری فازی، میانگین دسته (میانگین نظر خبرگان) و میزان اختلاف‌نظر هر کارشناس از میانگین دسته محاسبه، و سپس برای دریافت برآوردهای جدید به کارشناسان ارسال می‌شود.

$$A_{ave} = (m_{SP}, m_{MP}, m_{LP}) \quad (۴)$$

$$A_{ave} - A_i = (m_{SP} - a_{SP}^{(i)}, m_{MP} - a_{MP}^{(i)}, m_{LP} - a_{LP}^{(i)}) \quad (۵)$$

$$= \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{SP}^{(i)} - a_{SP}^{(i)}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{MP}^{(i)} - a_{MP}^{(i)}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{LP}^{(i)} - a_{LP}^{(i)} \right)$$

۳. در مرحله بعد، هر کارشناس براساس اطلاعات

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x - \alpha_{SP}}{\alpha_{MP} - \alpha_{SP}} & \alpha_{SP} \leq x \leq \alpha_{MP} \\ \frac{\alpha_{LP} - x}{\alpha_{LP} - \alpha_{MP}} & \alpha_{MP} \leq x \leq \alpha_{LP} \\ 0 & O.W \end{cases} \quad (۱)$$

تاکنون مجموعه فازی در زمینه‌های مختلفی کاربرد داشته است. از جمله در هزینه‌یابی [۱۴]، اقتصاد مهندسی مانند ارزیابی سرمایه‌گذاری فناوری اطلاعات [۱۵]، تحلیل هزینه و منفعت [۱۶]، انتخاب پروژه [۱۷]، بودجه‌بندی سرمایه‌های [۱۸، ۱۹] و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین [۲۰]. تئوری مجموعه فازی برای هریک از موارد بالا نماینده ابهام و ریسک در غیاب اطلاعات کامل و دقیق است.

رویکرد و متدولوژی تبیین مدل پژوهش

در این مطالعه، به‌منظور تعیین تعداد بهینه تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی، مدلی جدید با استفاده از روش مجموعه فازی در شرایط عدم اطمینان توسعه یافته است. شکل ۱ رویکرد پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های استاندارد تخمین تعداد منابع عملیاتی نشان می‌دهد.

شناسایی فرایندهای عملیاتی

در این گام، فرایندهای تولیدی برای واحد عملیاتی مورد نظر و انواع تجهیزات مورد نیاز برای فرایندها جهت تولید محصولات شناسایی می‌شود.

جمع‌آوری داده‌ها

اطلاعات درمورد نیروی انسانی، فرایندها و محصولات آن از قبیل اطلاعات مربوط به زمان هریک از عملیات تولیدی و درصد ضایعات مربوط به هر فرایند عملیاتی، به‌کمک مصاحبه با نیروی کار کلیدی شرکت و مرور اطلاعات تولیدی و فرایند شرکت و زمان‌سنجی فرایندهای عملیات صورت می‌گیرد. از آنجا که اطلاعات زمانی درمورد فرایندهای عملیاتی و درصد ضایعات مربوط به هر فرایند نمی‌تواند به‌صورت دقیق استخراج شود، از روش اعداد فازی در این مرحله استفاده می‌شود؛ بنابراین سیستم تخمین تعداد بهینه تجهیزات و نیروی انسانی با ورودی پارامترهای فازی مثلثی شکل می‌گیرد. ورودی سیستم مورد نظر سه

محاسبه مقادیر SP، MP و LP میزان تولید هر عملیات

با استفاده از اطلاعات به دست آمده در مورد درصد ضایعات فرایندهای عملیاتی، پس از تعیین درصد و تعداد تولید روزانه واحدهای عملیاتی، مقادیر SP، MP و LP مربوط به میزان ورودی هر عملیات براساس رابطه ۷ محاسبه می‌شود. اگر مقادیر SP، MP و LP مربوط به میزان تولید عملیات i را به ترتیب با D_{SPi} ، D_{MPi} و D_{LPi} نشان می‌دهیم:

$$D_i = (D_{SPi}, D_{MPi}, D_{LPi}) = \frac{P_i}{1 - (\alpha_{SPi}, \alpha_{MPi}, \alpha_{LPi})} \quad (7)$$

در این رابطه P_i بیانگر میزان تولید روزانه عملیات i است.

تعیین مقادیر SP، MP و LP تعداد بهینه ماشین‌آلات

با توجه به یافته‌های مراحل قبل در مورد میزان تولید هر عملیات و براساس زمان هریک از فرایندهای عملیاتی، کسر بهینه ماشین‌آلات و تجهیزات مورد نیاز فرایندهای عملیاتی مطابق با روابط ۸-۱۱ تعیین می‌شود. اگر برای عملیات i مقادیر SP، MP و LP مربوط به کسر بهینه ماشین‌آلات را به ترتیب با N_{SPi} ، N_{MPi} و N_{LPi} نشان دهیم:

$$N_i = (N_{SPi}, N_{MPi}, N_{LPi}) \quad (8)$$

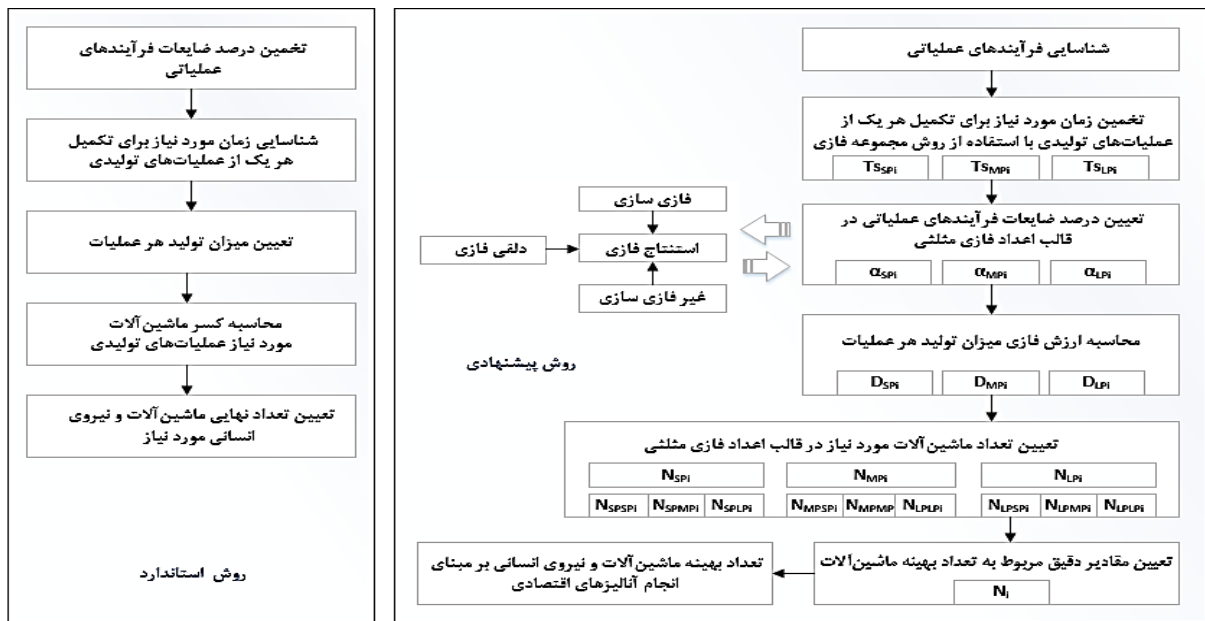
به دست آمده از مرحله قبل، برآورد جدیدی ارائه می‌دهد و در صورت صلاح دید، نظر پیشین خود را اصلاح می‌کند.

$$B_i = (b_{SP}^{(i)}, b_{MP}^{(i)}, b_{LP}^{(i)}) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

۴. این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که میانگین دسته به اندازه کافی بایات شود. در صورتی که اختلاف میانگین دو راند فازی از حد آستانه کم (برای مثال ۰/۲) کمتر شود، میانگین اعداد به دست آمده به اندازه کافی بایات و فرایند دلفی متوقف می‌شود. پس از اتمام این فرایند، درصد ضایعات هر فرایند عملیاتی براساس میانگین آخرین تکرار در قالب اعداد فازی مثلثی تعیین می‌شود. درصد ضایعات هر عملیات در مدل پیشنهادی با سه گانه $(\alpha_{SPi}, \alpha_{MPi}, \alpha_{LPi})$ قابل مشاهده است که در آن α_{SPi} ، α_{MPi} و α_{LPi} به ترتیب بیانگر حداقل مقدار ممکن، محتمل‌ترین مقدار و حداکثر مقدار ممکن مربوط به درصد ضایعات عملیات i هستند.

بسط مدل

در مرحله بسط مدل، میزان تولید هریک از عملیات تولیدی و کسر مربوط به تعداد تجهیزات و ماشین‌آلات براساس رویکرد فازی تعیین می‌شود. در این مدل، تعیین تعداد بهینه تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی براساس مراحل زیر صورت می‌گیرد.



شکل ۱. مقایسه گرافیکی رویکرد پیشنهادی تخمین منابع با روش استاندارد

در این روابط، F_i بیانگر تعداد دفعات آماده‌سازی ماشین، TP_i بیانگر مدت‌زمان آماده‌سازی ماشین و TC_i بیانگر زمان در دسترس ماشین عملیات i ام است. همچنین R و E بیانگر ضریب پایایی و عملکرد ماشین هستند.

تعیین مقادیر دقیق مربوط به تعداد بهینه ماشین آلات

در این مرحله، مجموعه‌های فازی تعداد ماشین‌آلات برای تعیین ارزش قطعی به کمک رابطه ۱۲ غیر فازی می‌شوند. در این رابطه، X بیانگر خروجی فازی و X^* نیز نشان‌دهنده ارزش دقیق خروجی فازی هستند. در این مطالعه از روش مرکز ثقل ۹ برای غیرفازی‌سازی استفاده شد که یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای تبدیل اعداد فازی به ارزش‌های قطعی است. همچنین می‌توان این روش را به کمک محاسبه میانگین ارزش‌های سه‌گانه اعداد فازی مثلثی نیز انجام داد که از این موضوع در تشکیل روابط ۱۳-۱۶ استفاده شده است [۲۲].

$$X^* = \frac{\int \mu(x) \cdot x dx}{\int \mu(x) dx} \quad (12)$$

$$N_i = \frac{N_{SPi} + N_{MPi} + N_{LPI}}{3} \quad (13)$$

$$N_{SPi} = \frac{N_{SPSPi} + N_{SPMPi} + N_{SPLPi}}{3} \quad (14)$$

$$N_{MPi} = \frac{N_{MPSPi} + N_{MPMPi} + N_{MPLPi}}{3} \quad (15)$$

$$N_{LPI} = \frac{N_{LPSPi} + N_{LPMPi} + N_{LPLPi}}{3} \quad (16)$$

آنالیز و تحلیل

در گام نهایی مدل پیشنهادی، با توجه به کسر ماشین‌آلات مربوط به فرایندهای عملیاتی و نیروی انسانی مورد نیاز برای آن، تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی با آنالیزهای اقتصادی، راهبردها و اهداف کلی سازمان با در نظر گرفتن طرح توسعه تعیین می‌شود.

مطالعه موردی

در این بخش، کاربرد روش پیشنهادی در مطالعه‌ای موردی از یک صنعت نساجی آمده است. صنایع نساجی نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد و شکوفایی صنعتی کشورهای توسعه‌یافته دارد. نقش اقتصادی این صنایع در اقتصاد موجب

در این رابطه، N_{LPI} ، N_{MPi} ، N_{SPi} به ترتیب بیانگر حداقل، محتمل‌ترین و حداکثر تعداد ماشین‌آلات مربوط به عملیات i هستند. با توجه به اینکه «درصد ضایعات» و «زمان مورد نیاز فرایندهای عملیاتی» به کمک اعداد فازی مثلثی نشان داده شده است، ۹ حالت مختلف وجود خواهد داشت که براساس پارامتر زمان در سه رابطه مختلف بررسی می‌شوند؛ برای مثال یک رابطه برای حالتی است که زمان در شرایط خوش‌بینانه^۶ (کمترین مقدار ممکن) و درصد ضایعات به ترتیب در سه حالت خوش‌بینانه، متوسط^۷ (محتمل‌ترین مقدار ممکن) و بدبینانه^۸ (بیشترین مقدار ممکن) قرار داشته باشد. این حالت تعیین‌کننده مقادیر مربوط به حداقل تعداد ممکن برای ماشین‌آلات عملیات i ام (N_{SPi}) است. در این رابطه N_{SPSPi} ، N_{SPMPi} و N_{SPLPi} به ترتیب بیانگر کمترین، محتمل‌ترین و بیشترین تعداد ماشین‌آلات عملیات i در وضعیتی هستند که زمان در حالت خوش‌بینانه و درصد ضایعات به ترتیب در حالت خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه قرار داشته باشد.

(۹)

$$N_{SPi} = (N_{SPSPi}, N_{SPMPi}, N_{SPLPi}) = \left(\frac{\left(\frac{TS_{SPi} \times D_{SPi}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i}, \frac{\left(\frac{TS_{SPi} \times D_{MPi}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i}, \frac{\left(\frac{TS_{SPi} \times D_{LPI}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i} \right) \quad (10)$$

$$N_{MPi} = (N_{MPSPi}, N_{MPMPi}, N_{MPLPi}) = \left(\frac{\left(\frac{TS_{MPi} \times D_{SPi}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i}, \frac{\left(\frac{TS_{MPi} \times D_{MPi}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i}, \frac{\left(\frac{TS_{MPi} \times D_{LPI}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i} \right) \quad (11)$$

$$N_{LPI} = (N_{LPSPi}, N_{LPMPi}, N_{LPLPi}) = \left(\frac{\left(\frac{TS_{LPI} \times D_{SPi}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i}, \frac{\left(\frac{TS_{LPI} \times D_{MPi}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i}, \frac{\left(\frac{TS_{LPI} \times D_{LPI}}{R \times E} \right) + (F_i \times TP_i)}{TC_i} \right)$$

را برحسب هر یک متر پارچه تولیدی نشان می‌دهد. در این مرحله، از روش دلفی فازی برای تخمین درصد ضایعات فرایندهای عملیاتی در قالب اعداد فازی مثلثی استفاده شد. مطابق این روش، گروهی ۱۲ نفر از کارشناسان تشکیل شد و از آنان خواستند درصد ضایعات هر عملیات را تعیین و تخمین‌ها را در قالب اعداد فازی مثلثی ارائه کنند. در هر مرحله، محاسبه میانگین دسته و میزان اختلاف نظر هر کارشناس از میانگین دسته صورت گرفت و این اطلاعات برای تخمین‌های جدید به کارشناسان ارسال شد. در جدول ۲، نتایج این روش در مورد درصد ضایعات فرایندهای عملیاتی کارخانه در قالب اعداد فازی مثلثی آمده است.

جدول ۱. درصد ضایعات و زمان فرایندهای عملیاتی برحسب هر یک متر پارچه

شماره عملیات	عملیات	نام ماشین	TSLP _i	TSMPI _i	TSSPI _i
۱	چله‌پیچی	وارپینگ	۱۰/۶۷	۹/۲۶	۸/۳۳
۲	یافتندگی	راشل	۱۵۳	۱۴۲/۸۶	۱۳۵/۸
۳	برش پارچه	اسلایتر	۱۵/۲۸	۱۲	۱۰/۶۷
۴	براق‌شدن پارچه	دبل یافتندگی	۶/۱۱	۴/۶۲	۴/۲۱
۵	چاپ	پرینتر	۱۴/۵۵	۱۲/۴۳	۱۱/۸
۶	بخار	استیمر	۱۴	۱۲/۵	۱۰/۴۳
۷	شست‌وشو	واشینگ	۶/۴	۵	۳/۲۵
۸	خشک‌کردن	درایر	۱۰/۱۴	۸/۵۷	۷/۴۷
۹	بازکردن چروک و تنظیم عرض	استنتر	۴/۸۷	۴/۲۹	۳/۸۶
۱۰	خارزنی و پرداخت	خارزنی و پرداخت	۶/۷۵	۵/۴۵	۵/۲
۱۱	برش کاری و خیاطی	ماشین برش چرخ خیاطی	۱۳/۶	۱۰/۵	۹/۷۸
۱۲	بسته‌بندی	تسمه‌زن	۲۸/۵	۲۵	۲۳/۲۱
			۸/۲	۶/۰۴	۵/۵۵

جدول ۲. درصد ضایعات فرایندهای عملیاتی کارخانه

شماره عملیات	LPi α	MPi α	SPi α
۱	۱/۱	۰/۹	۰/۵۳
۲	۲/۵	۱/۸	۱/۳
۳	۱/۲	۰/۹۶	۰/۶۳
۴	۰/۳۳	۰/۲	۰
۵	۱/۷	۱/۲۵	۰/۵
۶	۰/۱۵	۰/۱	۰
۷	۰/۳۵	۰/۲	۰/۱۲
۸	۰/۳	۰/۲۲	۰
۹	۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۲۶
۱۰	۲/۵۳	۲	۱/۴۵
۱۱	۱/۵	۱	۰/۷۳
۱۲	۰/۴۵	۰/۳	۰/۲۵
	۰	۰	۰

شده تا زمره صنایع مهم کشورهای در حال توسعه قرار بگیرد. با این حال صنعت نساجی ایران یکی از ریشه‌ای‌ترین صنایع کشور است که چالش‌های بسیاری دارد. در حال حاضر، برخی شرکت‌های نساجی با پایین بودن بهره‌وری مواجهند و تلاش به منظور ارتقای بهره‌وری بسیار اهمیت دارد. در سیستم‌های صنعتی، مکان‌یابی و استقرار مناسب تسهیلات و تعیین تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی، تأثیر بسزایی در هزینه‌های ساخت دارد و به افزایش راندمان و بهره‌وری صنعت می‌انجامد. قابلیت اطمینان نتایج روش‌های تخمین تعداد مناسب منابع مورد نیاز فرایندهای عملیاتی، به برآورد اطلاعات ورودی بستگی دارد که معمولاً به کمک مصاحبه، پرسشنامه، قضاوت یا با استفاده از داده‌های تاریخی حاصل می‌شود؛ بنابراین از آنجا که بسیاری از قضاوت‌ها در شرایط عدم قطعیت صورت می‌گیرد، این احتمال وجود دارد که در شرایط عدم اطمینان داده‌های ورودی نادرست باشد و منجر به عدم ارائه اطلاعات صحیح شود؛ از این رو در این مطالعه، مدلی برای تخمین تعداد بهینه تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی با استفاده از منطق فازی در شرایط عدم اطمینان توسعه یافته است. در مطالعه موردی انجام شده، بسیاری از اطلاعات مربوط به زمان و درصد ضایعات فرایندهای عملیاتی به صورت دقیق قابل استخراج نیستند؛ به همین دلیل از روش پیشنهادی برای تخمین درصد ضایعات و زمان مورد نیاز برای فرایندهای عملیاتی استفاده شده و مقایسه‌ای از نتایج مدل پیشنهادی با روش استاندارد ارائه شده است.

شناسایی فرایندهای عملیاتی

در این مرحله، همه فرایندهای عملیاتی کارخانه نساجی مدنظر و ماشین‌آلات مورد استفاده به کمک این فرایندها شناسایی شد (جدول ۱). این اطلاعات با استفاده از مشاهده مستقیم فرایندها، مصاحبه با کارکنان کلیدی و مرور اطلاعات فرایندی کارخانه جمع‌آوری شد.

جمع‌آوری داده‌ها

با توجه به موارد ذکر شده، اطلاعات مربوط به زمان هر یک از فرایندهای عملیاتی و درصد ضایعات مربوط به هر عملیات، به کمک فرایند زمان‌سنجی و مصاحبه با کارشناسان تعیین شد. جدول ۱ زمان فرایندهای عملیاتی

بسط مدل

مخلوط، پساب و... اشاره کرد. با توجه به اینکه عرض پتو ۲/۲ متر است، می توان گفت میزان تولید روزانه تقریباً ۱۴,۰۰۰ متر است. با تعیین درصد و تعداد تولید روزانه واحدهای عملیاتی و نیز درصد ضایعات فرایندهای عملیاتی، میزان تولید هر عملیات براساس رابطه ۷ تعیین شد. در جدول ۳، درصد و تعداد تولید روزانه کارخانه آمده است.

جدول ۳. درصد و تعداد تولید روزانه کارخانه

درجه بندی	درجه ۱	درجه ۲	درجه ۳	برشی
تعداد	۴۸۳۹	۱۲۱۵	۲۳۰	۷۷
درصد	۱/۷۷	۱۸/۲	۳/۴	۱/۳

در این مدل، میزان تولید هریک از عملیات تولیدی و کسر مربوط به ماشین آلات براساس رویکرد فازی به کمک مراحل زیر تعیین می شود.

محاسبه مقادیر SP، MP و LP میزان تولید هر عملیات

در این مرحله، درصد و تعداد تولید روزانه واحدهای عملیاتی برآورد می شود و مبنای تعیین میزان ورودی هر عملیات قرار می گیرد. محصولات کارخانه براساس میزان ضایعات و کیفیت حاصل شده درجه بندی می شوند (جدول ۳). از جمله ایرادهای محصول درجه ۲ و ۳ می توان به لکه رنگی، کم بودن وزن، لکه رنگی بر اثر تاخوردگی، نخ

جدول ۴. میزان تولید روزانه هر عملیات

شماره عملیات	خروجی لازم از عملیات (P _i)		D _{LPI}	D _{MPI}	D _{SPI}
۱۲	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰
۱۱	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۴۰۱۲/۱۲۶	۱۴۰۳۵/۰۹
۱۰	۱۴۰۶۳/۲۸۴۸	۱۴۰۴۲/۱۲۶۴	۱۴۲۷۷	۱۴۱۸۳/۹۶۶	۱۴۱۳۸/۳
۹	۱۴۶۴۸/۴۱۹	۱۴۴۷۳/۴۳۴۷	۱۴۷۱۴	۱۴۵۲۴/۲۷	۱۴۳۴۶/۳۲
۸	۱۴۷۱۴/۲۵۶۱	۱۴۵۲۴/۲۶۹۷	۱۴۷۵۹	۱۴۵۵۶/۲۹۴	۱۴۳۸۳/۷۲
۷	۱۴۷۵۸/۵۳۱۷	۱۴۵۵۶/۲۹۳۵	۱۴۸۱۰	۱۴۵۸۵/۶۴۶	۱۴۴۰۱
۶	۱۴۸۱۰/۳۶۸	۱۴۵۸۵/۴۶۴۴	۱۴۸۳۳	۱۴۶۰۰/۰۶۵	۱۴۴۰۱
۵	۱۴۸۳۲/۶۱۶۹	۱۴۶۰۰/۶۴۵	۱۵۰۸۹	۱۴۷۸۴/۸۷۵	۱۴۴۷۳/۳۶
۴	۱۵۰۸۹/۱۳۲۱	۱۴۷۸۴/۸۷۵۵	۱۵۱۳۹	۱۴۸۱۴/۵۰۴	۱۴۴۷۳/۳۶
۳	۱۵۱۳۹/۰۹۱۱	۱۴۸۱۴/۵۰۴۵	۱۵۳۳۳	۱۴۹۵۸/۱۰۲	۱۴۵۶۵/۱۲
۲	۱۵۳۳۲/۳۶۶۷	۱۴۹۵۸/۱۰۲۲	۱۵۷۱۶	۱۵۲۳۲/۲۸۳	۱۴۷۵۶/۹۷
۱	۱۵۷۱۵/۸۶۳۳	۱۵۲۳۲/۲۸۳۴	۱۵۸۹۱	۱۵۳۷۰/۶۱۹	۱۴۸۳۵/۵۹

براساس کمترین زمان فرایندهای عملیاتی آمده است. کارخانه مدنظر سه شیفت کاری ۸ ساعته، معادل ۲۴ ساعت کاری و ۱۴۴۰ دقیقه دارد که با کسر ساعات استراحت و تغذیه، زمان در دسترس معادل ۱۳۲۰ دقیقه است. ضریب پایایی ماشین و ضریب عملکرد ماشین نیز ثابت و به ترتیب ۱ و ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است.

تعیین مقادیر SP، MP و LP تعداد بهینه ماشین آلات

در این مرحله، تعداد ماشین آلات مورد نیاز با استفاده از رابطه ۸ تعیین می شود. با توجه به اینکه «درصد ضایعات» و «زمان» به کمک اعداد فازی مثلثی نشان داده شده است، ۹ حالت مختلف وجود خواهد داشت که براساس پارامتر زمان در روابط ۹-۱۱ بررسی می شوند؛ برای نمونه در جدول ۵، تعداد ماشین آلات مورد نیاز هر عملیات در قالب اعداد فازی مثلثی

جدول ۵. تعداد ماشین‌آلات مورد نیاز براساس کمترین زمان فرایندهای عملیاتی

شماره عملیات	N_{LPI}	N_{MPI}	N_{SPI}	N_i
۱	۰/۱۹۰۴۱	۱/۹۰۲۴۵	۱/۷۱۲۵	۱/۹۳۵۱۳
۲	۳۰/۹۸۹۲	۲۸/۹۳۵۹۷	۲۷/۵۰۶	۲۹/۱۴۳۸۶
۳	۳/۳۵۸۴	۲/۳۸۴۱۷	۲/۱۱۹۹	۲/۵۱۳۳۱
۴	۱/۲۰۲۵۹	۰/۹۰۹۳۲	۰/۸۲۸۶	۰/۹۸۰۱۸
۵	۲/۸۷۸۸۵	۲/۴۶۲۳۳	۲/۳۳۸۶	۲/۵۵۹۹۱
۶	۲/۷۱۸۷۳	۲/۴۲۷۴۴	۲/۰۲۵۵	۲/۳۹۰۵۴
۷	۱/۲۴۱۸	۰/۹۷۰۱۶	۰/۶۳۰۶	۰/۹۴۷۵۲
۸	۱/۹۶۳۰۷	۱/۶۵۹۱۲	۱/۴۴۶۲	۱/۶۸۹۴۵
۹	۱/۹۴۱۱۷	۰/۸۲۹۰۸	۰/۷۴۶	۰/۸۳۷۴
۱۰	۱/۲۹۹۸۷	۱/۰۴۹۵۳	۱/۰۰۱۴	۱/۱۱۶۹۳
۱۱	۲/۵۶۶۷	۱/۹۸۱۶۴	۱/۸۴۵۸	۲/۱۳۱۳۷
	۵/۳۲۰۷۷	۴/۶۶۷۳۴	۴/۳۳۳۲	۴/۷۷۳۷۶
۱۲	۱/۵۲۷۶۸	۱/۱۲۵۷۶	۱/۰۳۴۶	۱/۲۲۹۳۴

تعیین مقادیر دقیق مربوط به تعداد ماشین‌آلات

با توجه به اینکه مقادیر مربوط به تعداد ماشین‌آلات مورد نیاز هر یک از فرایندهای عملیاتی در قالب اعداد فازی مثلثی تعیین می‌شوند، باید در این مرحله مقادیر فازی حاصل از طریق روابط ۱۳-۱۶ به مقادیر قطعی تبدیل شوند تا در مرحله بعدی از مدل پیشنهادی استفاده شود.

بحث

در گام نهایی مدل پیشنهادی، با توجه به کسر ماشین‌آلات مربوط به فرایندهای عملیاتی، تعداد بهینه ماشین‌آلات و

نیروی انسانی با آنالیزهای اقتصادی، راهبردها و اهداف کلی سازمان با در نظر گرفتن طرح توسعه تعیین می‌شود. در مورد عملیاتی که در آن‌ها از ماشین‌آلات استفاده می‌شود، فرض این است که هر یک تشکیل یک ایستگاه کاری مستقل را می‌دهند. در محاسبه تعداد نیروی انسانی برای هر عملیات، چنانچه کارگر زمان بیکاری داشته باشد، به چند ماشین تخصیص داده می‌شود. در جدول ۶، تعداد دقیق ماشین‌آلات مورد نیاز هر عملیات و در جدول ۷ تعداد هیئت ماشین‌آلات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی آمده است.

جدول ۶. تعداد ماشین‌آلات دقیق مورد نیاز فرایندهای عملیاتی

نام ماشین	T_{SPI}	T_{PI}	N_{SPLPI}	N_{SPMPI}	N_{SPSPI}
وارپینگ	۸/۳	۹۰۰	۱/۷۷	۱/۷۱۳۱	۱/۶۵۳۸۵
راشل	۱۳۶	۷۰۰	۲۸/۴	۲۷/۵۰۱	۲۶/۶۴۳۶
اسلایتر	۱۱	۰	۲/۱۷	۲/۱۲۱۳	۲/۰۶۵۵۲
دبل بافندگی	۴/۲	۰	۰/۸۵	۰/۸۲۸۹	۰/۸۰۹۸۵
پرینتر	۱۲	۱۶۰۰	۲/۳۹	۲/۳۳۸۹	۲/۲۹۰۰۸
استیمر	۱۰	۰	۲/۰۶	۲/۰۲۳۹	۱/۹۹۶۳۱
واشینگ	۳/۳	۰	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۲۲۰۵
درایر	۷/۵	۰	۱/۴۷	۱/۴۴۵۲	۱/۴۲۸۰۵
استنتر	۳/۹	۰	۰/۷۵	۰/۷۴۵۱	۰/۷۳۷۹۲
خارزنی و پرداخت	۵/۲	۰	۱/۰۱	۱/۰۰۰۳	۰/۹۹۱۵۱
ماشین برش	۹/۸	۰	۱/۸۶	۱/۸۴۳۷	۱/۸۳۷۵۵
چرخ خیاطی	۲۳	۰	۴/۳۴	۴/۳۳۱۷	۴/۳۲۹۵۴
تسمه زن	۵/۶	۱۵۰	۱/۰۳	۱/۰۳۴۶	۱/۰۳۴۵۹

جدول ۷. تعداد بهینه ماشین آلات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی

نام ماشین: وارپینگ	شماره عملیات	۱
کسر بیکاری نیروی انسانی: *	کسر ماشین	۱/۹۳۵۱۳
آنالیز ماشین: با توجه به قابلیت تخصیص ماشین مذکور به ۱ یا ۲ عدد برای عملیات ۱ به منظور برآوردن نیاز تولیدی، اقتصادی تر است که ۲ ماشین در نظر بگیریم؛ چراکه امکان استفاده از اضافه کاری با داشتن ۱ ماشین وجود ندارد. همین طور به دلیل نیاز عملیات بعدی مانند بافندگی به خروجی این دستگاه، انتخاب ما همان ۲ ماشین است.		
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری نیروی انسانی و نیاز هر دستگاه به سه نفر برای حمل چله‌ها، بوبین گذاری و کار با دستگاه، در مجموع به ۶ نفر نیاز است.	تعداد نهایی نیروی انسانی: ۶	
نام ماشین: اسلایتر	شماره عملیات	۳
کسر بیکاری نیروی انسانی: *	کسر ماشین	۲/۵۱۳۳۱
آنالیز ماشین: در صورت در نظر گرفتن ۸ ساعت کاری در هر شیفت به ۳ ماشین برای برآورد میزان تولید نیاز خواهد بود، اما با آنالیز اقتصادی لازم و در نظر گرفتن هزینه بسیار بالای خرید دستگاه اسلایتر به صرفه است که به جای خرید ۱ دستگاه بیشتر، از تعداد کمتری دستگاه، ولی بهتر و کارا تر استفاده کنیم؛ یعنی به عملیات مربوط تنها ۲ ماشین اختصاص دهیم.		
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری کارگر حین عملیات، امکان تخصیص ۱ کارگر به ۲ دستگاه مقدور نیست؛ بنابراین تعداد کارگر لازم برای تخصیص به این عملیات، برابر تعداد ماشین‌های مورد استفاده است.	تعداد نهایی نیروی انسانی: ۲	
نام ماشین: پرینتر	شماره عملیات	۵
کسر بیکاری نیروی انسانی: *	کسر ماشین	۲/۵۵۹۹۱
آنالیز ماشین: در صورت در نظر گرفتن ۸ ساعت کاری در هر شیفت به ۳ ماشین نیاز است، اما با آنالیز اقتصادی لازم و در نظر گرفتن هزینه بسیار بالای خرید دستگاه پرینتر، به صرفه است از ۲ دستگاه پرینتر استفاده کنیم. همچنین با توجه به نبود فضای کافی و نیاز به فضای بیشتر برای این دستگاه، در نظر گرفتن ۲ دستگاه اقتصادی تر است.		
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری و نیاز به ۲ نفر برای کار، ۲ برابر تعداد ماشین برای این عملیات کارگر در نظر می‌گیریم.	تعداد نهایی ماشین: ۲	
نام ماشین: واشینگ	شماره عملیات	۷
کسر بیکاری نیروی انسانی: *	کسر ماشین	۰/۹۴۷۵۲
آنالیز ماشین: با توجه به نیاز، ۱ دستگاه واشینگ را در نظر می‌گیریم.		
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری نیروی انسانی هنگام عملیات و نیاز به ۲ نفر برای هر دستگاه، ۲ برابر تعداد ماشین برای این عملیات کارگر در نظر می‌گیریم.	تعداد نهایی ماشین: ۱	
نام ماشین: استنتر	شماره عملیات	۹
کسر بیکاری نیروی انسانی: ۱/۰۱	کسر ماشین	۰/۸۳۸۷۴
آنالیز ماشین: با توجه به نیاز حداقل یک دستگاه برای این بخش، ۱ دستگاه استنتر را در نظر می‌گیریم.		
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل ناچیز بودن زمان بیکاری نیروی انسانی و نیاز به ۲ نفر برای هر دستگاه، ۲ برابر تعداد ماشین برای این عملیات کارگر در نظر می‌گیریم.	تعداد نهایی ماشین: ۱	
نام ماشین: برش	شماره عملیات	۱۱
کسر بیکاری نیروی انسانی: *	کسر ماشین	۲/۱۳۱۳۷
آنالیز ماشین: در این قسمت امکان تخصیص ۲ ماشین یا ۳ ماشین وجود دارد. به دلیل شرایط مناسب برای خرید دستگاه برش و به علت حجم ورودی نسبتاً بالای این مرحله، در نظر گرفتن ۳ ماشین اقتصادی تر است.		
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری نیروی انسانی هنگام عملیات به هر ماشین یک کارگر اختصاص می‌دهیم.	تعداد نهایی ماشین: ۳	
نام ماشین: راشل	شماره عملیات	۲
کسر بیکاری نیروی انسانی: ۰/۵	کسر ماشین	۲۹/۱۴۳۸۶
آنالیز ماشین: با توجه به قیمت و هزینه بالای دستگاه راشل اقتصادی تر است از تعداد کمتری ماشین، ولی به طور بهینه استفاده کنیم؛ بنابراین ۲۹ دستگاه را در نظر می‌گیریم.		
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل وجود کسر بیکاری نیروی انسانی ۰/۵، با آنالیز لازم به هر کارگر می‌توان ۲ ماشین اختصاص داد؛ یعنی برای ۲۹ دستگاه به حدود ۱۴ کارگر نیاز داریم. همچنین برای بارگذاری و تخلیه (هدایت جرتقلیل سقفی) باید ۴ نفر در نظر گرفته شوند که در مجموع به ۱۸ کارگر نیاز خواهد بود.	تعداد نهایی ماشین: ۲۹	
نام ماشین: دبل بافندگی	شماره عملیات	۴
کسر بیکاری نیروی انسانی: *	کسر ماشین	۰/۹۸۰۱۸
تعداد نهایی نیروی انسانی: ۱۸		

ادامه جدول ۸. تعداد بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی مورد نیاز فرایندهای عملیاتی

آنالیز ماشین: با توجه به نیاز حداقل ۱ ماشین برای این بخش، ۱ ماشین دبل بافندگی را در نظر می‌گیریم.	تعداد نهایی ماشین: ۱	تعداد نهایی نیروی انسانی: ۲
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری نیروی انسانی هنگام عملیات و نیاز به ۲ نفر برای کار با دستگاه، ۲ برابر تعداد ماشین برای این عملیات کارگر در نظر می‌گیریم.	نام ماشین: درایر	شماره عملیات: ۸
کسر بیکاری نیروی انسانی: ۰/۰۵	کسر ماشین: ۱/۶۸۹۴۵	
آنالیز ماشین: در این قسمت امکان تخصیص ۱ یا ۲ ماشین وجود دارد. به دلیل شرایط مناسب برای خرید دستگاه درایر و در نظر داشتن طرح توسعه، در نظر گرفتن ۲ ماشین اقتصادی تر است. همچنین با توجه به نیازمندی به تعداد بیشتری دستگاه برای این قسمت به دلیل حجم ورودی زیاد این مرحله و پایین بودن ظرفیت خروجی، به ۲ دستگاه درایر نیاز است.	نام ماشین: خازنی و پرداخت	شماره عملیات: ۱۰
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل ناچیز بودن زمان بیکاری نیروی انسانی هنگام عملیات و نیاز هر دستگاه به ۱ نفر، در مجموع به ۲ کارگر نیاز داریم.	کسر بیکاری نیروی انسانی: ۰	کسر ماشین: ۱/۱۱۶۹۳
آنالیز ماشین: در این قسمت امکان تخصیص ۱ یا ۲ ماشین وجود دارد که به دلیل شرایط مناسب برای خرید دستگاه خازنی، پرداخت و در نظر داشتن طرح توسعه و عدم امکان استفاده از اضافه کاری، در نظر گرفتن ۲ ماشین اقتصادی تر است.	نام ماشین: چرخ خیاطی	شماره عملیات: ۱۱
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری کارگر و لزوم دقت در هنگام کار، به هر ماشین ۲ کارگر اختصاص می‌دهیم.	کسر بیکاری نیروی انسانی: ۰	کسر ماشین: ۴/۷۷۳۷۶
تعداد نهایی ماشین: ۲	تعداد نهایی نیروی انسانی: ۴	
آنالیز ماشین: با توجه به قابلیت تخصیص ماشین مذکور به ۴ یا ۵ عدد برای عملیات ۱۱ به منظور برآوردن نیاز تولیدی، اقتصادی تر آن است که ۵ دستگاه در نظر بگیریم. همچنین به دلیل ارزان بودن دستگاه چرخ خیاطی، اقتصادی تر است که از ۵ دستگاه برای این مرحله استفاده شود تا جواب‌گوی نیاز این مرحله باشد.	نام ماشین: استیمر	شماره عملیات: ۶
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری نیروی انسانی هنگام عملیات به هر ماشین ۱ کارگر اختصاص می‌دهیم.	کسر بیکاری نیروی انسانی: ۰/۰۳	کسر ماشین: ۲/۳۹۰۵۴
تعداد نهایی ماشین: ۵	تعداد نهایی نیروی انسانی: ۵	
آنالیز ماشین: در این قسمت امکان تخصیص ۲ یا ۳ ماشین وجود دارد که به دلیل در نظر گرفتن ۲ دستگاه پرینتر برای عملیات چاپ، اقتصادی تر آن است که ۲ دستگاه استیمر در نظر گرفته شود. همچنین با توجه به قیمت و فضای مورد نیاز این دستگاه، تهیه بیش از ۲ دستگاه مقرون به صرفه نیست.	نام ماشین: تسمه زن	شماره عملیات: ۱۲
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل ناچیز بودن زمان بیکاری نیروی انسانی هنگام انجام عملیات و نیاز هر دستگاه به یک نفر برای کار با آن، در مجموع به ۲ کارگر نیاز داریم.	کسر بیکاری نیروی انسانی: ۰	کسر ماشین: ۱/۳۲۹۳۴
تعداد نهایی ماشین: ۲	تعداد نهایی نیروی انسانی: ۲	
آنالیز ماشین: با توجه به نیاز حجم بالای تعداد پتوهای بسته‌بندی شده در این مرحله به منظور بسته‌بندی کارتنی محصولات و به دلیل ارزان بودن دستگاه تسمه زن، اقتصادی تر است که از ۲ دستگاه برای این مرحله استفاده شود.	نام ماشین: کسری	شماره عملیات: ۱۲
آنالیز نیروی انسانی: به دلیل نبود زمان بیکاری نیروی انسانی هنگام عملیات به هر ماشین ۱ نفر کارگر اختصاص می‌دهیم.	تعداد نهایی نیروی انسانی: ۲	

و استفاده بهینه از ظرفیت ایجاد شده داشته باشد. نتایج به دست آمده از مدل پیشنهادی، اطلاعات جامع تر و دقیق تری را در شرایط عدم اطمینان به دست می‌دهد و مدیران صنایع را در تصمیم‌گیری‌های مناسب در مورد استفاده از ظرفیت، بودجه بندی سرمایه، کنترل هزینه و... یاری می‌رساند. مدیران می‌توانند با استفاده از این اطلاعات و با تصمیم‌گیری‌های مناسب به کمک بازنگری ظرفیت استفاده نشده، هزینه‌های منابع استفاده نشده را کاهش دهند و منجر به افزایش کارایی و بهره‌وری شوند.

در این مطالعه از منطق فازی برای تخمین درصد ضایعات و زمان مورد نیاز برای فرایندهای عملیاتی استفاده شد؛ در نتیجه اطلاعات دقیق تری در مورد تعداد بهینه تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز به دست آمد. در جدول ۸ نتایج مدل پیشنهادی در مقایسه با روش استاندارد آمده است. همان طور که مشاهده می‌شود تفاوت فراوانی میان تعداد تجهیزات برآورد شده به کمک این روش با تعداد تجهیزات فعلی و تجهیزات برآورد شده از روش استاندارد وجود دارد که این اختلاف‌ها می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد

تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز می‌شود. در این مدل، از منطق فازی برای رفع محدودیت‌ها و نواقص مربوط به تخمین داده‌ها یا عدم قطعیت در داده‌های جمع‌آوری شده استفاده شد. از آنجا که این داده‌ها معمولاً به کمک مصاحبه و مشاهده جمع‌آوری می‌شوند، ماهیت مبهمی دارند، مقدار دقیق آن‌ها نامعلوم است و این احتمال وجود دارد که در شرایط عدم اطمینان داده‌های ورودی نادرست باشد و به ارائه غلط اطلاعات منجر شود. از این‌رو استفاده از سیستم پیشنهادی، دیدگاه بهتری در مورد چگونگی تغییر در تعداد تجهیزات تعیین شده در محیط‌های مبهم و فازی فراهم می‌کند و سبب می‌شود تعداد تجهیزات تعیین شده به حالت بهینه نزدیک‌تر باشد. از مدل پیشنهادی در این مقاله در صنعت نساجی استفاده شد و مقایسه نتایج آن با وضعیت موجود صورت گرفت. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد در شرایط عدم اطمینان با استفاده از مدل جدید می‌توان به نتایج دقیق‌تر و مناسب‌تری در مقایسه با روش استاندارد دست یافت، در نتیجه صنایع می‌توانند از این مدل برای کاهش عدم اطمینان داده‌ها استفاده کنند و تصمیم‌های مناسب‌تر و صحیح‌تری با استفاده از اطلاعات حاصل از آن به دست بیاورند.

جدول ۹. نتایج مدل پیشنهادی در مقایسه با روش استاندارد تخمین منابع

نام ماشین	روش پیشنهادی	روش استاندارد
وارپینگ	۲	۳
راشل	۲۹	۳۸
اسلایتر	۲	۲
دیل بافندگی	۱	۲
پرینتر	۲	۲
استیمر	۲	۳
واشینگ	۱	۱
درایر	۲	۲
استنتر	۱	۱
خارزنی و پرداخت	۲	۲
ماشین برش	۳	۲
چرخ خیاطی	۵	۶
تسمه‌زن	۲	۳

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف پیشنهاد چارچوب جدیدی برای تعیین کسر بهینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی مورد نیاز با بهره‌گیری از تئوری مجموعه فازی انجام شد. منطق فازی یکی از مؤثرترین روش‌ها برای تغییر داده‌ها از وضعیت عدم اطمینان است که سبب ایجاد مدل تخمین فازی تعداد

منابع

- Sobhani, H., and Mohammadloo, H. A. (2008). "Comparative Analysis of the Factor Productivity in Iran's Large Manufacturing", *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, Vol. 43, No. 1: PP. 94-126.
- Kohansal, M. R., and Hayatgheibi, F. (2015). "Comparison of Regional Differences in the Productivities of Intermediate Factors", *Quarterly Journal of Economic Research, Research Institute of Economics*, Vol. 15, No. 1, PP. 159-184.
- Sule, D. R. (2008). *Manufacturing Facilities: Location, Planning, and Design*, Chapter 6, 3 Ed: CRC Press.
- Koopmans, T. C., and Beckmann, M. (1957). "Assignment Problems and the Location of Economic Activities", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, Vol. 25, No. 1, PP. 53-76.
- Azadivar, F., and Wang, J. (2000). "Facility Layout Optimization Using Simulation and Genetic Algorithms", *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 17, PP. 4369-4383.
- Shayan, E., and Chittilappilly, A. (2004). "Genetic Algorithm for Facilities Layout Problems Based on Slicing Tree Structure", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No. 19, PP. 4055-4067.
- Toloei Ashlaghi, A., and Mojriani, M. (2010). "Developing a Facility Layout Optimization Method Using Mathematical Modeling (Case Study: Pooya Khodro Shargh)", *Scientific Journal Management System*, Vol. 21, No. 87, PP. 81-94.
- Fattahi, P., Samouei, P., and Zandiyeh, M. (2016). "An Integrated Approach for Product-Mix Determination, Two-Sided Assembly Line Balancing and Worker Assignment, Based on the Bottlenecks of System", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 50, No. 3, PP. 451-460.
- Monga, R., and Khurana, V. (2015), "Facility Layout Planning: A Review", *International Journal of*

- Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 4, No, 03, PP. 976-980.
10. Vitayasak, S., and Pongcharoen, P. (2015). *Genetic Algorithm Based Robust Layout Design by Considering Various Demand Variations*, In International Conference in Swarm Intelligence.
 11. Rabani, M., Hosseini Aghozi, N., and Manavizadeh, N. (2013). "Robust Optimization Approach in Production Planning Problem Considering Rework, Backlogging and Breakdown Under Conditions of Uncertainty: An Evolutionary Approach", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 47, No. 1, PP. 25-37.
 12. Zaree Mehrjerdi, Y., and Heidari Meybodi, M. (2017). "A Robust Optimization Model of Facility Location-Reliable Network Design in Competitive Environment Under Uncertainty", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 51, No. 3, PP. 325-337.
 13. Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy Sets, Information and Control*, Vol. 8, No. 3, PP. 338-353.
 14. Ostadi, B., Mokhtarian Daloie, R., and Sepehri, M. M. (2018). "A Combined Modelling of Fuzzy Logic and Time-Driven Activity-Based Costing (TDABC) for Hospital Services Costing Under Uncertainty", *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 89, No. 1, PP. 11-28.
 15. Roztocky, N., and Weistroffer, H. R. (2005). *Evaluating Information Technology Investments: A Fuzzy Activity-Based Costing Approach*.
 16. Wang, M. J., and Liang, G. S. (1995). "Benefit/Cost Analysis Using Fuzzy Concept", *The Engineering Economist*, Vol. 40, No. 4, PP. 359-376.
 17. Maravas, A., and Pantouvakis, J. P. (2012). "Project Cash Flow Analysis in the Presence of Uncertainty in Activity Duration and Cost", *International Journal of Project Management*, Vol. 30, No. 3, PP. 374-384.
 18. Kahraman, C., Ruan, D., and Tolga, E. (2002). "Capital Budgeting Techniques Using Discounted Fuzzy Versus Probabilistic Cash Flows", *Information Sciences*, Vol. 142, No. 1, PP. 57-76.
 19. Kuchta, D. (2000). "Fuzzy Capital Budgeting", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 111, No. 3, PP. 367-385.
 20. Peidro, D. et al. (2009). "Fuzzy Optimization for Supply Chain Planning Under Supply, Demand and Process Uncertainties", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 160, No. 18, PP. 2640-2657.
 21. Cheng, C. H., and Lin, Y. (2002). "Evaluating the Best Main Battle Tank Using Fuzzy Decision Theory with Linguistic Criteria Evaluation", *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, No. 1, PP. 174-186.
 22. Liou, T. S., and Wang, M. J. J. (1992). *Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value*, *Fuzzy Sets and Systems*.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Facility Layout Optimization (Flp)
2. Triangular Fuzzy Number (Tfn)
3. Optimistic
4. Moderate
5. Pessimistic
6. Smallest Possible (Sp)
7. Most Promising (Mp)
8. Largest Possible (Lp)
9. Center Of Gravity Method (Coq)