ارائه مدلی برای سرمایه‌گذاری بهینه در ماشین‌آلات پیشرفته تولیدی براساس جریان نقدی تنزیل‌شده فازی

حسن حسینی نسب[1]　　حسن رسایی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۳　　تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۹

چکیده

دراین مقاله به ارائه مدلی برای سرمایه‌گذاری بهینه در ماشین‌آلات پیشرفته تولیدی بااستفاده از برنامه‌ریزی خطی‌فازی پرداخته می‌شود. در مرحله اول، اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت و حداقل سطوح دستیابی به آنها در قالب مقادیر فازی، توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌شود. در مرحله بعد، گزینه‌های امکان‌پذیر برای دستیابی‌به این اهداف و تأثیر این گزینه‌ها در دستیابی به هر کدام از اهداف در قالب متغیرهای کلامی بیان می‌شود. تأثیر هر گزینه در دستیابی به اهداف استراتژیک به‌عنوان ضرایب تکنولوژیکی وحداقل سطوح دستیابی به اهداف به‌عنوان مقادیر سمت راست در محدودیت مربوط‌به حداقل سطوح دستیابی به اهداف لحاظ می‌شوند. علاوه‌بر این، محدودیت‌های مربوط به روابط متقابل بین ماشین‌آلات، گزینه‌های ناسازگار و محدودیت بودجه سرمایه‌گذاری در مدل لحاظ شده است. هدف از مدل حاضر، تعیین تعداد خرید از هر نوع ماشین است به‌طوریکه ارزش فعلی سرمایه‌گذاری شرکت، تحت محدودیت‌های ذکر شده حداکثر شود. محاسبه ارزش فعلی براساس جریان نقدی تنزیل شده فازی انجام گرفته که در آن نرخ تورم، نرخ بهره، درآمد و هزینه‌های ماشین‌آلات به‌صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. نهایتاً با ارائه یک مثال، نحوه کاربرد این مدل تشریح شده است.

واژگان کلیدی: مدل‌های ریاضی، روشهای بهینه‌سازی، هزینه سرمایه‌گذاری، آنالیز پروژه‌ها.

JEL: C02, C61, D24, O22.

۱. مقدمه

ماشین‌آلات پیشرفته تولید را می‌توان نوع خاصی از تکنولوژی‌های پیشرفته تولید دانست. تکنولوژی‌های پیشرفته تولید، به گستره‌ای از تکنولوژی‌ها اطلاق می‌شودکه از کامپیوتر در فعالیت‌های تولیدی خود به‌طور

۱. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، Email:hhn@yazduni.ac.ir
۲. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، Email:hasan.Rasay@gmail.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

مستقیم یا غیرمستقیم بهره میگیرند (Boyer et al, 1996). استفاده از تکنولوژی پیشرفتهٔ تولید مناسب، می‌تواند منجربه بهبود فرایند تولید، افزایش کیفیت، بهبود قابلیت اطمینان و افزایش انعطاف‌پذیری سیستم شود. باتوجه‌به گستره وسیع ماشین‌آلات پیشرفته تولید که امروزه در دسترس است انتخاب ماشین‌آلات مناسب در مراحل طراحی و توسعه کارخانه از اهمیت زیادی برخوردار است. درحالیکه بسیاری از شرکت‌های تولیدی که در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید سرمایه‌گذاری کرده‌اند به‌منافع سرشاری رسیده‌اند برخی دیگر از شرکت‌ها در این امر کمتر موفق بوده‌اند. این مطلب نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در این نوع از تکنولوژی اگرچه جذاب اما دارای ریسک زیادی می‌باشد(Chen, 1995, Chu, 2009).

سرمایه‌گذاری در این سیستمها به‌خاطر ویژگی‌های متمایزی که با سیستمهای تولید سنتی دارد، غالباً با وسواس و دقت بیشتری همراه است. از مهمترین و بارزترین ویژگی تکنولوژیهای پیشرفته تولید عبارتند از: دوره عمر طولانی، نیاز به توسعهٔ سرمایه‌گذاری در سال‌های متعدد، منافع متعدد غیرملموس، افزایش بازگشت سرمایه با گذشت زمان، (Ordoobadi and Mulvaney, 2001). این ویژگی‌ها سبب شده است تا توجیه سرمایه‌گذاری در سیستم‌های پیشرفته تولید، بااستفاده ازتکنیک‌های مرسوم اقتصاد مهندسی دشوار شود و اغلب اوقات کارشناسان برای توجیه این سیستمها از دیگر روشهای توجیه سرمایه‌گذاری نیز استفاده کنند. روش‌ها و تکنیک‌های مورداستفاده برای توجیه سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید توسط دران وآجیلو مطرح گردیده است (Duran and Aguilo, 2008). آنها این تکنیک‌ها را به روشهای اقتصادی، استراتژیکی و تحلیلی دسته‌بندی و معایب و مزایا هرکدام را بیان کرده‌اند.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در مرحله توجیه سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید، کمی‌کردن برخی از درآمدهای بالقوه، اگر غیرممکن نباشد، بسیار مشکل است. بسیاری از مدیران اعلام می‌کنند که رویکردهای حسابداری، پذیرش و استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفتهٔ تولید را محدود می‌کنند و قادر نیستند که بسیاری‌از منافع حاصل از اجرای این نوع تکنولوژیها را کمی کنند. همچنین بسیاری از محققان به ناکافی بودن معیارهای توجیه مالی مرسوم، مانند روشهای بازگشت سرمایه، دوره بازگشت و ارزش فعلی، اذعان داشته‌اند (Karsak and Tolga, 2001; Karsak and Kusgunkaya, 2002). به‌همین دلیل در برخی از مقالات، با ادغام منافع کمی و غیرکمی، از رویکردهای ترکیبی برای توجیه سرمایه‌گذاری استفاده می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

زارع مهرجردی و همکاران(۱۳۸۹) یک مدل ترکیبی براساس تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی و برنامه‌ریزی خطی احتمالی برای توجیه سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید و انتخاب گزینه مناسب ارائه داده‌اند.

پرسیوال و کزارین، به‌بررسی این موضوع پرداخته‌اند که چرا اجرای برخی از تکنولوژی‌های پیشرفته تولید منجربه بازگشت سرمایه زیادی می‌شود. (Percival. and Cozzarin,2010) چانگ و وانگ رویکردی را برای پیش‌بینی امکان موفقیت تکنولوژی‌های پیشرفته تولید برمبنای تحلیل‌های فازی توسعه داده‌اند و ادعا کرده‌اند که رویکرد آنها عملکرد بهتری نسبت به AHP دارد(Chang and Wang, 2009). چو از یک مدل تصمیم‌گیری گروهی بااستفاده از تحلیل چندمعیاره فازی برای توجیه تکنولوژیهای پیشرفته تولید استفاده کرده است(Chu, 2009). دران و آجیلو یک رویکرد سلسله‌مراتبی AHP براساس روش‌های چندمعیاره‌فازی برای ارزیابی و توجیه تکنولوژی‌های پیشرفته تولید ارائه کرده و معیارهای اقتصادی و استراتژیکی را در مدل دخیل کرده‌اند. در رویکرد پیشنهادی آنها از یک مدل‌ترکیبی که هم متغیرهای عددی و هم متغیرهای کلامی را شامل می‌شود، استفاده شده است(Duran and Aguilo, 2008). یرداکول از یک مدل ترکیبی تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و برنامه‌ریزی آرمانی برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه تکنولوژیهای ساخت یکپارچه کامپیوتری (CIM) استفاده کرده و در مدل پیشنهادی خود هم معیارهای کمی و هم معیارهای کیفی را درنظر گرفته است(Yurdakul, 2004). کارساک و کسگانکایا رویکرد چند هدفهٔ فازی را برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر به کار برده‌اند و از تئوری مجموعه‌های فازی برای در نظرگرفتن ابهامات و عدم‌قطعیت، در محیط‌های سرمایه‌گذاری، استفاده کرده و هم معیارهای استراتژیکی و هم معیارهای اقتصادی را درنظرگرفته‌اند(Karsak and Kusgunkaya, 2002). کارساک و توگلا از الگوریتم تصمیم‌گیری فازی برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه تکنولوژی پیشرفته تولید، از میان یک مجموعه گزینه‌های ناسازگار استفاده کرده و هم معیارهای اقتصادی و هم معیارهای استراتژیکی مانند انعطاف‌پذیری، بهبود کیفیت را در مرحله انتخاب در نظر گرفته‌اند(Karsak and Tolga, 2001). باتوجه به مرور ادبیات می‌توان گفت که برخی از مدل‌های ارائه شده در این زمینه تنها از یکی از روش‌های اقتصادی، تحلیلی و استراتژیک استفاده کرده‌اند. هر چند در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای استفاده از تکنیک‌های ترکیبی، جهت بررسی موضوع فوق صورت گرفته است، اما در مدل‌های ارائه شده، فرض‌های ساده‌کننده متعددی را درنظر گرفته‌شده است به‌طوری‌که عملاً کاربرد مدل را در محیط‌های صنعتی با متغیرها و عوامل ناشناخته فراوان، محدود می‌کند. مدل ارائه شده در این مقاله از چند لحاظ نقاط‌ضعف مدل‌های پیشنهادی را پوشش می‌دهد:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

۱- فازی‌بودن کامل مدل؛ به‌طوریکه نیاز نیست سرمایه‌گذار هیچ‌کدام از پارامترهای مورد نیاز در مدل را به‌طور دقیق مشخص کند. بسیاری از پارامترها همانند نرخ بهره، نرخ تورم، درآمد و هزینه ناشی از یک نوع ماشین در یک دوره زمانی مشخص را می‌توان به‌صورت اعداد فازی وارد مدل نمود.

۲- برخی دیگر از پارامترهای مدل همانند اهمیت یک هدف خاص برای شرکت موردنظر و یا میزان تأثیر یک نوع ماشین تولیدی دردستیابی‌به یک هدف می‌تواند به صورت متغیرهای کلامی بیان شود که خود دامنه کاربرد مدل را وسیع‌تر می‌کند. ۳- استفاده از رویکرد تعاملی جیمنز(Jimenez et al, 2007).

۳. مدل تحقیق و روش عملکرد آن

هدف مقاله تعیین میزان سرمایه‌گذاری بهینه در ماشین‌آلات پیشرفته تولید است، یعنی تعیین نوع و تعداد ماشین‌آلاتی که باید خریداری شود، به‌طوریکه ارزش فعلی سرمایه‌گذاری شرکت حداکثر شود. لذا، در مرحله نخست مدیران ارشد، اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت و حداقل سطوح دستیابی‌به آنها را در قالب اعداد فازی بیان می‌کنند. درمرحله بعد یک‌سری از گزینه‌های امکان‌پذیر را باتوجه به ویژگی‌ها و فرایند تولید کارخانه، معین کرده و تأثیر هرکدام از این گزینه‌ها را در رسیدن‌به اهداف شرکت در قالب متغیرهای کلامی بیان می‌کنند. هدف حداکثرکردن ارزش فعلی سرمایه‌گذاری شرکت است به‌طوریکه به حداقل سطوح مشخص‌شده اهداف دست پیدا کنیم. محدودیت مربوط‌به بودجه اولیه سرمایه‌گذاری، بودجه مربوط به هزینه‌های تعمیرات و نگهداری، محدودیت مربوط به گزینه‌های ناسازگار، روابط پیش نیازی و روابط متقابل بین ماشین‌آلات در این مدل در نظر گرفته شده است. مراحل مدل عبارتند از:

۱- مشخص‌کردن اهداف استراتژیک و حداقل سطوح دستیابی‌به آنها باتوجه به نظرات کارشناسان و مدیران ارشد.

۲- مشخص‌کردن گزینه‌های امکان‌پذیر باتوجه‌به نظر تصمیم‌گیرندگان در مورد فرایند تولید کارخانه و سایر الزامات سیستم تولیدی و تعیین میزان تأثیرهرکدام از گزینه‌ها در رسیدن‌به اهداف شرکت در قالب متغیرهای کلامی.

۳- تحلیل جریان نقدی تنزیل‌شده فازی، برای هر گزینه و بدست آورن ارزش فعلی خالص هر کدام از گزینه‌ها.

۴- فرمول‌بندی برنامه‌ریزی‌خطی‌فازی.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

۱.۳ رویکرد تعاملی جیمنز[1] برای حل مدل برنامه‌ریزی‌خطی‌فازی

برنامه‌ریزی‌خطی‌فازی زیر را در نظر بگیرید.

$$Min\ Z = \tilde{c}x$$
$$s.t. \quad x \in N(\tilde{A}, \tilde{b}) = \{x \in R^n | \tilde{a}_i x \geq \tilde{b}_i, \quad i = 1, \ldots, m,\ x \geq 0\} \qquad (۱)$$

درحالیکه $\tilde{b} = (b_1, \ldots, b_m)^t$ و $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]_{m\times n}$ و $\tilde{c} = (c_1, \ldots, c_n)$ اعداد فازی هستند و بردار $x=(x_1,\ldots,x_n)$ به‌عنوان یک راه‌حل برای این مسئله به‌صورت غیرفازی می‌باشد. در مورد حل این مدل باید به دو سوال زیر پاسخ داده شود:

۱- چگونه شدنی‌بودن بردار x را درحالیکه ضرایب تکنولوژیکی و مقادیر سمت راست فازی هستند تعریف کنیم.

۲- چگونه بهینگی بردارx را در تابع هدف در حالیکه ضرایب تابع هدف فازی هستند تعریف کنیم.

راه حل‌ها متعددی برای این مسئله ارائه شده است (Rommelfanger and Slwonski, 1994, Lai and Hwang,1994). باتوجه‌به مسئله موردبحث در این مقاله، استفاده از رویکرد تعاملی جیمنز (۲۰۰۷) برای حل این نوع از مسائل برنامه‌ریزی خطی‌فازی در حالتی‌که پارامترها اعداد فازی دلخواهی‌باشند ترجیح داده شده است. در این رویکرد، تصمیم‌گیرنده در تمام مراحل تصمیم‌گیری به‌صورت تعاملی شرکت کرده و نظراتش را به‌صورت متغیرهای کلامی بیان می‌کند. استفاده از این رویکرد خود نقطه قوت دیگری در استفاده از مدل ارائه شده است. در این قسمت این روش برای حل رابطه ۱ و در حالیکه کلیه اعداد فازی به صورت مثلثی باشند تشریح شده است.

اگر (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}) ضریب متغیر x_j در تابع هدف باشد، راه‌حل x را در درجه α شدنی می‌نامیم، آنرا با نماد $x^0(\alpha)$ نشان می‌دهیم و از حل مدل برنامه‌ریزی‌خطی‌عادی زیر به‌دست می‌آوریم.

$$\min \sum_{j=1}^{n} \frac{(c_{j1} + 2c_{j2} + c_{j3})}{4} x_j$$
$$s.t \sum_{j=1}^{n} [(1-\alpha)E_2^{a_{ij}} + \alpha E_1^{a_{ij}}] x_j \geq \alpha E_2^{b_i} + (1-\alpha)E_1^{b_i}, i = 1, \ldots, m$$
$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \ldots, n \qquad (۲)$$

اگر $\tilde{d} = (d_1, d_2, d_3)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، آنگاه مقادیر E1 وE2 به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

1. Jimenez Interactive method

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

$$E_1^d = \frac{d_1+d_2}{2}, E_2^d = \frac{d_2+d_3}{2} \quad (۳)$$

برای درجات‌شدنی بودن جواب (α) در این مقاله از رویکرد کافمن و جولیا (Jimeneze et al., 2007) استفاده شده است. البته واضح است‌که باتوجه به نظر تصمیم‌گیرنده مقیاس‌های دیگری نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ابتدا، رابطه (۲) را برای مقادیر مختلف α حل می‌کنیم و مقادیر تابع هدف را به‌صورت زیر به‌دست می‌آوریم.

$$\tilde{z}^0(\alpha_k) = \tilde{c}x^0(\alpha_k) \quad (۴)$$

پس از بدست‌آوردن مقادیر تابع هدف برای جواب‌های شدنی در سطوح مختلف، در مرحله بعد تصمیم‌گیرنده باید سطح دستیابی به هدفش $\tilde{G}$ را مشخص کند. فرض‌کنید تصمیم‌گیرنده مشخص‌کرده که اگر $z \leq \tilde{G}$ هدفش به‌طور کامل برآورده می‌شود، اما اگر $z \leq \tilde{G}$ سطح دستیابی‌به هدفش صفر خواهد بود. بنابراین هدف را می‌توان توسط یک مجموعه فازی با تابع عضویت زیر مشخص کرد.

$$\mu_{\tilde{G}}(z^0(\alpha)) = \begin{bmatrix} 0 & if\ z \geq \bar{G} \\ \lambda \in [0,1] & Decreasing\ on\ \underline{G} \leq z \leq \bar{G} \\ 1 & if\ z \leq \underline{G} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

در مرحله بعد باید درجه ارضاء هدف‌فازی $\tilde{G}$ را توسط هرکدام از راه‌حل‌های بهینه در سطح α مشخص کنیم. درجه ارضاء هدف فازی $\tilde{G}$ را توسط راه‌حل شدنی $x^0(\alpha)$ بااستفاده از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$K_{\tilde{G}}(z^0(\alpha)) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\tilde{z}^0(\alpha)}(z).\mu_{\tilde{G}}(z)dz}{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\tilde{z}^0(\alpha)}(z)dz} \quad (۶)$$

$\mu_{\tilde{z}^0(\alpha)}(z)$ تابع عضویت جواب بهینه فعلی در سطح α می‌باشد.

باافزایش درجه‌شدنی‌بودن یک راه‌حل، درجه ارضاء هدف‌فازی $\tilde{G}$ توسط آن راه‌حل کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر باافزایش درجه‌شدنی‌بودن، با مقادیر تابع هدف بدتری مواجه می‌شویم. بنابراین تصمیم‌گیرنده باید راه‌حل متعادلی را بین دو هدف متناقض انتخاب کند. اگر $\tilde{D}$ را به‌صورت مجموعه فازی که تعادل بین میزان ارضاء محدودیت‌ها و درجه ارضاء تابع هدف را نشان می‌دهد، تعریف کنیم آنگاه درجه عضویت راه‌حل $x^0(\alpha)$ در این مجموعه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\mu_{\tilde{D}}\left(x^0(\alpha_k)\right) = \alpha_k \times K_{\tilde{G}}\left(\tilde{z}^0(\alpha_k)\right) \quad (۷)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

پس ازمحاسبه درجه عضویت راه‌حل‌های مختلف در مجموعه‌فازی $\widetilde{D}$، راه‌حلی بابیشترین درجه عضویت براساس رابطه زیر به‌عنوان راه‌حل بهینه رابطه (۱) انتخاب خواهد شد.

$$\mu_{\widetilde{D}}(x*) = Max_{\alpha_k \in M}\{\alpha_k \times K_{\widetilde{G}}(\tilde{z}^0(\alpha_k))\} \quad (۸)$$

در رابطه فوق M مجموعه‌ای متشکل از مقادیر مختلف α موردبررسی در مدل می‌باشد.

٤. تعیین اهداف استراتژیک شرکت، حداقل سطوح‌دستیابی‌به آنها و گزینه‌های امکان‌پذیر

١.٤. انتخاب اهداف و گزینه‌های امکان‌پذیر

فرض می‌کنیم که تصمیم‌گیرنده اهداف SC_i(i=1,2,…,n) را به‌عنوان اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت معرفی می‌کند و همچنین گزینه‌هایAl_j(j=1,2,…,m) را به‌عنوان گزینه‌های امکان‌پذیر برای دستیابی‌به این اهداف مد نظر دارد. لازم به‌ذکر است که در مدل موردنظر در این مقاله فرض کرده‌ایم در تمام مراحل یک تصمیم‌گیرنده وجود دارد. بدیهی است که مدل ذکر شده را در حالتی‌که چند تصمیم-گیرنده وجود دارد می‌تواند به‌راحتی با میانگین‌گیری از نظرات آنها توسعه داد (زارع مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۹).

٢.٤. تعیین سطوح دستیابی‌به اهداف

برای تعیین سطح دستیابی‌به هر کدام از اهداف از دو رویکرد استفاده می‌کنیم. در رویکرد اول، فرض می‌کنیم که سطح دستیابی‌به هر کدام از اهداف، توسط تصمیم‌گیرنده و در قالب اعداد فازی بیان می‌شود. در رویکرد دوم فرض می‌کنیم که سطح دستیابی‌به هر هدف به‌صورت ضریبی از اهمیت آن هدف باشد. بنابراین در این حالت نخست باید اهمیت هر کدام از اهداف در قالب متغیرهای کلامی توسط تصمیم‌گیرنده مشخص شود.

در حالت اول تصمیم‌گیرنده، $\tilde{b}_i$ را به‌صورت یک عدد فازی و به‌عنوان حداقل سطح دستیابی‌به هدف iام تعیین می‌کند. در رویکرد دوم، نخست باید اهمیت هرکدام از اهداف، معین شود. در این مرحله، تصمیم‌گیرنده نظر خود را در رابطه‌با اهمیت هر یک از اهداف، بااستفاده از متغیرهای کلامی مجموعهٔ W={ VL ,L ,M , H ,VH} بیان می‌کند.

معادل فازی برای متغیر کلامی که توسط تصمیم‌گیرنده به هدفiام نسبت داده شده را با W_i نشان می‌دهیم. در این صورت:

$$\widetilde{W_i} = (a_i, b_i, c_i), \forall i \quad (۹)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

اگر فرض کنیم حداقل سطح دستیابی‌به هدف iام، V_iبرابر اهمیت آن هدف باشد، در این صورت حداقل سطح دستیابی به هدف iام برابر است با

$$\widetilde{b_i} = v_i \otimes \widetilde{W_i}(v_i a_i, v_i b_i, v_i c_i),\ \forall\, i \qquad (۱۰)$$

۳.٤. تعیین تأثیر هر گزینه در دستیابی‌به اهداف

در این مرحله مجدداً تصمیم‌گیرنده با بررسی دقیق اطلاعات مربوط‌به هر یک از گزینه‌ها (ماشین‌ها) و مطالعهٔ نقاط قوت و ضعف آنها، تأثیر هرکدام از گزینه‌ها را در دستیابی‌به اهداف مشخص‌شده به‌وسیله متغیرهای کلامی مجموعه) A={VP,P,F,G,VG} بیان می‌کند.

معادل فازی برای متغیر کلامی که تصمیم‌گیرنده، برای تأثیرهر واحد از گزینه jام را در دستیابی‌به هدف iام بیان می‌کند با $\widetilde{A_{ij}}$ نمایش داده و به‌وسیله رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\widetilde{A_{ij}} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}),\ \ \forall i, j \qquad (۱۱)$$

بنابراین مقادیر $\widetilde{b}_i$ مشخص‌شده در این قسمت به‌عنوان مقادیر سمت راست محدودیت مربوط‌به سطوح دستیابی اهداف استراتژیک و مقادیر $\widetilde{A}_{ij}$ به‌عنوان ضرایب تکنولوژیکی در محدودیت سطوح دستیابی اهداف ظاهر خواهند شد.

٤.٤. تحلیل جریان نقدی تنزیل‌شده فازی

نمادهای مسئله را به‌صورت جدول ۱ تعریف می‌کنیم:

جدول ۱. نمادهای به‌کارگرفته‌شده در مسئله

تعریف	نماد	تعریف	نماد
نرخ بهره واقعی در دوره tام	$\tilde{i}_{rt}=(i_{rta},i_{rtb},i_{rtc})$	هزینه‌های گزینه jام در دورهtام	$\tilde{C}_{jt}=(C_{jta},C_{jtb},C_{jtc})$
نرخ بهره ترکیبی در دوره tام	$\widetilde{i_{ct}}=(i_{cta},i_{ctb},i_{ctc})$	هزینه‌های اولیه ماشین jام	IC_j
نرخ تورم عمومی در دوره tام	$\widetilde{f_t}=(f_{ta},f_{tb},f_{tc})$	نرخ مالیات	TR
نرخ تورم درآمدها در دورهtام	$\widetilde{e_{Rt}}=(e_{Rta},e_{Rtb},e_{Rtc})$	استهلاک ماشین jدر دورهt	D_{jt}
نرخ تورم هزینه‌ها در دورهtام	$\widetilde{e_{Ct}}=(e_{Cta},e_{Ctb},e_{Ctc})$	ارزش اسقاط ماشین j	SV_j
درآمد حاصل از گزینه jام در دوره tام	$\widetilde{R_{jt}}=(R_{jta},R_{jtb},R_{jtc})$	عمر مفید گزینه jام	L_j

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

تحلیل جریان نقدی تنزیل‌شده فازی اخیراً توسط بسیاری از نویسندگان به‌عنوان جایگزینی برای مدل‌های جریان نقدی مرسوم که در آنها جریان‌های نقدی و نرخ بهره ثابت در نظر گرفته می‌شدند و یا توسط توزیع‌های احتمالی بیان می‌شدند، مورد استفاده قرار گرفته است(Karsak and Tolga, 2001; Perego and Rangone, 1998; Chui and Park, 1994). در این مقاله تحلیل جریان نقدی فازی، با در نظرگرفتن پارامترهای جدول ۵ انجام می‌گیرد و فرض می‌کنیم که کلیه اعداد فازی موردنظر، مثلثی باشند. اگر R_t و C_t درآمد و هزینه‌های یک فرایند مالی در دوره tام و I_0 فرایند مالی در دوره اول باشد جریان مالی بعد از کسر مالیاتِ یک طرح را در دوره‌های مختلف t، می‌توان توسط رابطه زیر بیان کرد (سایر نمادهای این رابطه را می‌توان در جدول ۱ ملاحظه کرد).

$$CFAT_t = \begin{bmatrix} -I_0 & t=1 \\ (R_t - C_t)(1-TR) + D_t \times TR & t = 1,2,\dots,L-1 \\ S.V + (R_N - C_N)(1-TR) + D_N \times TR & t = L \end{bmatrix} \quad (۱۲)$$

باتوجه به این رابطه و فازی در نظرگرفتن پارامترهای مطرح شده در جدول ۵، ارزش فعلی خالص یک طرح را می‌توان توسط رابطه زیر محاسبه کرد. در این رابطه فرض کرده‌ایم که نرخ‌های بهره و تورم در هر دوره ثابت ولی از یک دوره به دوره دیگر متفاوت باشد.

$$\widetilde{NPW} = -\widetilde{IC}_0 \oplus \widetilde{S.V} \otimes \prod_{t=1}^{L}(\tilde{1} \oplus \tilde{f}_t) \otimes (\tilde{1} \oplus \tilde{\imath}_{ct})^{-1} \oplus \sum_{t=1}^{L}([\tilde{R}_t \otimes \prod_{k=1}^{t}(\tilde{1} \oplus \tilde{e}_{rk})\ \Theta\ \tilde{C}_t \times \prod_{k=1}^{t}(\tilde{1} \oplus \tilde{e}_{ck})] \otimes (1 - \widetilde{TR}) \oplus \widetilde{D}_t \otimes \widetilde{TR}) \otimes \prod_{t=1}^{L}(\tilde{1} \oplus \tilde{\imath}_{ct})^{-1} \quad (۱۳)$$

$\otimes$،$\oplus$وΘ به‌ترتیب نمادهای ضرب، جمع وتفریق در محیط فازی هستند. برای تعاریف مربوط‌به ضرب و جمع فازی به‌پیوست ۱ مراجعه کنید. باتوجه‌به روابط مربوط‌به ضرب و جمع فازی می‌توان حاصل رابطه فوق را محاسبه کرد که در این قسمت در مورد آن به‌تفصیل صحبت خواهیم کرد. همچنین یادآور می‌شویم که عدد غیرفازی مانند α را می‌توان به‌صورت $\tilde{a} = (a,a,a)$ در نظر گرفت.

رابطه ۱۳ از سه قسمت تشکیل شده است. قسمت اول $\widetilde{IC}$ هزینه اولیه طرح است و می‌توان آنرا به‌صورت (IC,IC,IC) نمایش داد و در واقع یک عدد غیر فازی می‌باشد. $\widetilde{\imath_{c_t}}$ نرخ بهره ترکیبی در دوره tام است به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{\imath}_{ct} = \tilde{\imath}_{rt} \oplus \tilde{f}_t \oplus \tilde{\imath}_{rt} \otimes \tilde{f}_t \quad (۱۴)$$

باتوجه‌به تعریف ضرب و جمع فازی می‌توانیم بنویسیم:

$$\tilde{\imath}_{ct} = (i_{rta} + f_{ta} + i_{rta} \times f_{ta}, i_{rtb} + f_{tb} + i_{rtb} \times f_{tb}, i_{rtc} + f_{tc} + i_{rtc} \times f_{tc}) \quad (۱۵)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

باتوجه‌به تعاریف جمع و ضرب فازی قسمت دوم رابطه ۱۳ را می‌توان براساس رابطه زیر محاسبه کرد.

$$\widetilde{S.V} \otimes \prod_{t=1}^{N}\left(1 \oplus \tilde{f}_{\mathrm{t}}\right) \otimes (1 \oplus \tilde{\imath}_{ct})^{-1} =$$

$$\left(\frac{SV \times \prod_{k=1}^{L}(1+f_{ka})}{\prod_{k=1}^{L}(1+i_{ctc})} \cdot \frac{SV \times \prod_{k=1}^{L}(1+f_{kb})}{\prod_{k=1}^{L}(1+i_{ctb})} \cdot \frac{SV \times \prod_{k=1}^{L}(1+f_{kc})}{\prod_{k=1}^{L}(1+i_{cta})}\right) \quad (۱۶)$$

قسمت سوم رابطه ۱۳ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود. ابتدا درآمدها و هزینه‌ها در دوره t رابه‌صورت زیر متورم می کنیم:

$$R_t \otimes \prod_{k=1}^{t}(1 \oplus e_{Rk}) =$$
$$\left(R_{ta}\prod_{k=1}^{t}(1+e_{Rka}),\ R_{tb}\prod_{k=1}^{t}(1+e_{Rkb}),\ R_{tc}\prod_{k=1}^{t}(1+e_{Rkc})\right) \quad (۱۷)$$

$$\tilde{C}_{\mathrm{t}} \otimes \prod_{k=1}^{t}(1 \oplus \tilde{e}_{ck}) =$$
$$\left(C_{ta}\prod_{k=1}^{t}(1+e_{Cka}),\ C_{tb}\prod_{k=1}^{t}(1+e_{Ckb}),\ C_{tc}\prod_{k=1}^{t}(1+e_{Ckc})\right) \quad (۱۸)$$

جریان مالی بعد از کسر مالیات در دوره tام برابر است با:

$$\widetilde{CFAT}_{\mathrm{t}} = \left(\tilde{R}_{\mathrm{t}} \otimes \prod_{k=1}^{t}(1 \oplus \tilde{e}_{\mathrm{rk}})\ \Theta C_t \otimes \prod_{k=1}^{t}(1 \oplus \tilde{e}_{\mathrm{ck}})\right) \otimes (1-TR)\ \oplus \widetilde{D} \otimes \widetilde{TR} \quad (۱۹)$$

$$\widetilde{CFAT}_t = (CFAT_{ta}, CFAT_{tb}, CFAT_{tc}) \quad (۲۰)$$

$$CFAT_{ta} = \left(R_{ta} \times \prod_{k=1}^{t}(1+e_{Rka}) - C_{tc} \times \prod_{k=1}^{t}(1+e_{Ckc})\right) \times (1-TR)\ + D \times TR$$

$$CFAT_{tb} = \left(R_{tb} \times \prod_{k=1}^{t}(1+e_{Rkb}) - C_{tb} \times \prod_{k=1}^{t}(1+e_{Ckb})\right)\ \times (1-TR)\ + D \times TR$$

$$CFAT_{tc} = \left(R_{tc} \times \prod_{k=1}^{t}(1+e_{Rkc}) - C_{ta} \times \prod_{k=1}^{t}(1+e_{Cka})\right) \times (1-TR)\ + D \times TR \quad (۲۱)$$

اگر $CFAT_{ta} \geq 0$ ارزش فعلی جریان مالی بعد از کسر مالیات در دوره tام برابر است با:

$$\widetilde{CFAT}_{\mathrm{t}} \otimes \prod_{k=1}^{t}(1+\tilde{\imath}_{\mathrm{ck}})^{-1} = \left(\frac{CFAT_{ta}}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{ckc})}, \frac{CFAT_{tb}}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{ckb})}, \frac{CFAT_{tc}}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{cka})}\right) \quad (۲۲)$$

اگر $CFAT_{ta} \leq 0$ ارزش فعلی جریان مالی بعد از کسر مالیات در دوره tام برابر است با:

$$\widetilde{CFAT}_{\mathrm{t}} \otimes \prod_{k=1}^{t}(1+\tilde{\imath}_{ck})^{-1} = \left(\frac{CFAT_{ta}}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{ckc})}, \frac{CFAT_{tb}}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{ckb})}, \frac{CFAT_{tc}}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{cka})}\right) \quad (۲۳)$$

بنابراین حاصل عبارت سوم در رابطه ۱۳ برابر می‌شود با:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

$$\widetilde{pw} = \left(\sum_{t=1}^{L}\left[\frac{Max(CFAT_{ta}.0)}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{ckc})}+\frac{Min(CFAT_{ta}.0)}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{\mathrm{cka}})}\right], \sum_{t=1}^{L}\frac{CFAT_{tb}}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{ckb})}, \left[\sum_{t=1}^{L}\frac{Max(CFAT_{ta}.0)}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{cka})}+\frac{Min(CFAT_{ta}.0)}{\prod_{k=1}^{t}(1+i_{ckc})}\right]\right) \quad (۲۴)$$

با مشخص‌شدن نحوه محاسبه سه عبارت رابطه۱۳، اکنون می‌توانیم با جمع فازی آنها حاصل رابطه ۱۳ را محاسبه کرده و ارزش فعلی خالص طرح را بدست آوریم. در قدم بعدی مدلِ ارائه شده، باید ارزش فعلی خالص هرکدام از گزینه‌ها محاسبه شود. مقادیر ارزش فعلی خالص هرگزینه به‌عنوان ضریب آن گزینه در تابع هدفِ مدل در نظر گرفته می‌شود.

۵. فرمول‌بندی برنامه‌ریزی خطی فازی

۱.۵. تابع هدف مدل

هدف مدل مورد بحث انتخاب و خرید یک سری از ماشین‌آلات است به‌طوریکه ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری حداکثرشود. برای هر گزینه امکان‌پذیر دو نوع هزینه را در نظر می‌گیریم. هزینه‌های اولیه که مربوط‌به خرید دستگاه و هزینه‌های نصب می باشد و آن‌را به‌صورت غیرفازی در نظر می‌گیریم و هزینه‌های سالیانه یک دستگاه، که می‌تواند شامل هزینه تعمیرات و نگهداری، به‌روز کردن نرم‌افزارهای یا سخت افزارهای مورد نیاز در صورت لزوم و سایر هزینه‌های سالیانه یک گزینه باشد که آن‌را به‌صورت یک عدد فازی مثلثی در نظر می‌گیریم. درآمدهای حاصل از هر ماشین در هر سال نیز یک عدد فازی مثلثی می‌باشد. فرض کرده‌ایم نرخ بهره و نرخ تورم در هر دوره زمانی ثابت است اما از یک دوره به دوره بعد متفاوت باشد. اگر x_j متغیر تصمیم x، تعداد خرید از گزینه jام باشد، تابع هدف مدل را می‌توان به‌صورت زیر نوشت.

$$\widetilde{NPW} = -\sum_{j=1}^{m} x_j \widetilde{IC}_j \oplus \sum_{j=1}^{m} x_j \widetilde{S.V}_j \otimes \prod_{t=1}^{L_j}(\tilde{1} \oplus \tilde{f}_t) \otimes (\tilde{1} \oplus \widetilde{\iota_{ct}})^{-1} \oplus \sum_{j=1}^{m}\sum_{t=1}^{L_j} x_j \left(\left[\widetilde{R}_t \otimes \prod_{k=1}^{t}(\tilde{1} \oplus \widetilde{e_{Rk}})\ \Theta\ \widetilde{C}_t \times \prod_{k=1}^{t}(\tilde{1} \oplus \widetilde{e_{Ck}})\right] \otimes (1-\widetilde{TR}) \oplus \widetilde{D}_t \otimes \widetilde{TR}\right) \otimes \prod_{t=1}^{L_j}(\tilde{1} \oplus \widetilde{\iota_{ct}})^{-1} \quad (۲۵)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

۲.۵. محدودیت‌ها

الف- محدودیت مربوط به حداقل سطوح دستیابی به هر کدام از اهداف

در بخش ۴ اهداف استراتژیک و گزینه‌های مناسب برای دستیابی‌به این اهداف، توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص شد. همچنین $\tilde{b}_i$ به‌عنوان حداقل سطح دستیابی به هدف iام (i=1,…,n) و $\tilde{A}_{ij}$ به‌عنوان تاثیر هر واحد از گزینه jام (j=1,..,m) در دستیابی به هدف iام در قالب متغیر های کلامی و توسط تصمیم گیرندگان مشخص گردید. بنابراین برای هر هدف باید محدودیت زیر را لحاظ کنیم:

$$\sum_{j=1}^{m} \tilde{A}_{ij} x_j \geq \tilde{b}_j \quad , \forall\, i \qquad (۲۶)$$

ب- محدودیت مربوط به گزینه‌های ناسازگار

گزینه‌های ناسازگار[1] دو و یا چند گزینه امکان‌پذیر هستند که حداکثر یکی از این گزینه‌ها انتخاب خواهد شد. گزینه‌های ناسازگار در مسئله مورد بحث ما بدین‌صورت ظاهر می‌شوند که با انتخاب یک ماشین ممکن است نیاز به خرید ماشین‌های مشابه این دستگاه نباشد. اگر فرض کنیم یک مجموعه از گزینه‌های ناسازگار به‌نام MES داشته باشیم در این صورت محدودیت مربوط‌به ناسازگاری را می‌توان به‌صورت زیر در مدل در نظر گرفت.

$$x_j \leq M y_j \;\; , \; j \in \; MES, \sum_{j \in MES} y_j \leq 1 \qquad (۲۷)$$

y_j یک متغیر صفر ویک است که اگر از دستگاه jام حداقل یک واحد خریداری شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد و M یک عدد به اندازه کافی بزرگ می‌باشد. این محدودیت یک محدودیت غیرفازی می‌باشد.

ج- محدودیت مربوط به روابط پیش نیازی

در بسیاری از موارد ممکن است استفاده از یک دستگاه، نیاز به بهره‌برداری و خرید یک سری از ماشین آلات دیگر را الزامی کند. این گونه روابط را نیز می‌توان به‌راحتی در مدل مزبور در نظر گرفت. به‌عنوان مثال در نظر بگیرید که بین گزینه‌های j,i روابط پیش‌نیازی برقرار باشد به این معنا که دستگاه j بدون استفاده از دستگاه i قابل بهره‌برداری نیست این محدودیت را می‌توان به‌صورت زیر در مدل در نظر گرفت:

$$y_j \leq y_i \qquad (۲۸)$$

این محدودیت نیز به صورت غیرفازی می‌باشد.

[1] Mutually exclusive alternative

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

د- محدودیت مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه روی ماشین‌آلات و هزینه‌های سالیانه

ممکن است شرکتی که در حال خرید ماشین‌آلات است با محدودیت بودجه برای خرید مواجه باشد. در نظر بگیرید که یک شرکت به میزان TIB بودجه به خرید ماشین‌آلات اختصاص داده باشد و می‌خواهد که هزینه‌های خرید تجهیزات تولیدی از این مقدار بیشتر نباشد. این محدودیت را می‌توان به‌صورت زیر در مدل منظور کرد.

$$\sum_{j=1}^{n} x_j IC_j \leq TIB \tag{۲۹}$$

همچنین بودجه سالیانه در نظر گرفته شده برای هزینه‌های تعمیرات و نگهداری ماشین‌آلات و به‌روز کردن سخت‌افزار و یا نرم‌افزارهای آن و سایر هزینه‌ها ممکن است محدود باشد. فرض کنید که یک شرکت می‌خواهد که کل هزینه صرف شده در دوره tام، توسط مجموع ماشین‌آلات خریداری شده، از مقدار TB_t کمتر باشد. این محدودیت را می‌توان به‌صورت زیر در مدل لحاظ کرد:

$$\sum_{j=1}^{n} x_j \widetilde{c_{jt}} \leq TB_t \quad , \forall t \tag{۳۰}$$

در نهایت با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در این قسمت، فرمول‌بندی برنامه‌ریزی خطی فازی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت.

$$\begin{aligned}
Max \quad \widetilde{NPW} = &-\sum_{j=1}^{m} x_j \widetilde{IC}_j \oplus \sum_{j=1}^{m} x_j \widetilde{S.V}_j \otimes \prod_{t=1}^{L_j} (\tilde{1} \oplus \tilde{f}_t) \otimes (\tilde{1} \oplus \tilde{\imath}_{ct})^{-1} \\
&\oplus \sum_{j=1}^{m} \sum_{t=1}^{L_j} x_j ([\widetilde{R}_t \otimes \prod_{k=1}^{t} (\tilde{1} \oplus \widetilde{e_{Rk}}) \ \Theta \widetilde{C}_t \times \prod_{k=1}^{t} (\tilde{1} \oplus \widetilde{e_{Ck}})] \\
&\otimes \ (1 - \widetilde{TR}) \oplus \widetilde{D}_t \otimes \widetilde{TR}) \otimes \prod_{k=1}^{t} (\tilde{1} \oplus \tilde{\imath}_{ck})^{-1} \\
&s.t. \\
&\sum_{j=1}^{n} \tilde{A}_{ij} x_j \geq \tilde{b}_j \quad , \forall \ i \\
&x_j \leq M y_j \qquad , \ j \in MES \\
&\sum_{j \in MES} y_j \leq 1 \\
&\sum_{j=1}^{n} x_j \widetilde{c_{jt}} \leq TB_t \quad , \forall t \\
&\sum_{j=1}^{n} x_j IC_j \leq TIB \quad , x_j \in \{0,1,2,\ldots\}, \ y_j \in \{0,1\} \quad , \forall j
\end{aligned} \tag{۳۱}$$

این مدل را می‌توان براساس روش بخش ۳ حل کرد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

٦. داده‌ها و نتایج تجربی

یک شرکت تولیدی قصد دارد برای دستیابی به اهداف استراتژیک به شرحی که در جدول۲آمده است یک سری از ماشین‌آلات پیشرفته تولیدی را خریداری کند. مدیران این شرکت حداقل سطوح دستیابی به آنها چهار گزینه را به‌عنوان گزینه‌های امکان‌پذیر برای سرمایه‌گذاری مشخص کرده‌اند. گزینه‌های موردنظر و ویژگی‌های آنها را می‌توان در جدول ۳ ملاحظه کرد. کارشناسان تشخیص داده‌اند که از میان دو ماشین ۲و۳ تنها به خرید یکی نیاز است. همچنین این شرکت نمی‌خواهد بیشتر از ۷۰۰۰ واحد پولی (واحد پولی در این مثال میلیون ریال می‌باشد) در خرید تجهیزات جدید صرف کند. نرخ بهره (۲۵و۲۰و۱۸) درصد و نرخ تورم عمومی(۳۰و۲۰و۱۵) درصد و ثابت در هر دوره در نظر گرفته شده است. نرخ تورم هزینه‌ها و درآمدها به‌ترتیب (۱۸و۱۵و۱۳) و(۲۱و۱۷و۱۴) درصد و حداقل سطح دستیابی به هر هدف به‌صورت ۳ برابر اهمیت آن هدف در نظر گرفته شده است. سایر اطلاعات ورودی مسئله را می‌توان در جداول ۴ تا ۷ ملاحظه کرد.

جدول ۲. اهداف استراتژیک شرکت اهداف استراتژیک

اهداف	نماد
افزایش کیفیت محصولات در حدی که قابل رقابت با تولید کننده های معتبر باشد	SC1
ورود به بازارهای منطقه (صادرات به کشورهای حوزه خلیج فارس)	SC2
افزایش حجم و تنوع تولیدات و کاهش زمان پاسخ گویی به تقاضای مشتریان	SC3

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳. گزینه‌های مورد نظر ویژگی آنها

عمر مفید	ارزش اسقاط	هزینه اولیه (هزار ریال)	ماشین
۴	۱۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱
۵	۱۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۲
۵	۱۵۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۳
۶	۱۸۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول٤. اهداف استراتژیک و اهمیت آنها

هدف	متغیر کلامی	وزن هدف
SC1	M	(۰/۸-۰/۵-۰/۲)
SC2	H	(۱-۰/۷-۰/۵)
SC3	VH	(۱-۱-۰/۷)

ماخذ: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

جدول۵. هزینه‌های سالیانه ماشین‌آلات

ماشین/سال	M1	M2	M3	M4
۱	(۸۵-۷۵-۶۵)	(۹۵-۸۵-۷۵)	(۹۵-۸۵-۶۵)	(۶۰-۵۵-۴۵)
۲	(۱۲۰-۱۰۵-۹۰)	(۱۱۰-۹۵-۹۰)	(۱۱۰-۹۵-۹۵)	(۷۵-۶۴-۵۵)
۳	(۱۷۵-۱۶۵-۱۴۵)	(۱۴۰-۱۲۰-۱۰۵)	(۱۱۵-۱۱۰-۱۰۵)	(۸۰-۷۵-۶۰)
۴	(۲۰۰-۱۸۵-۱۷۰	(۱۶۵-۱۵۰-۱۳۵	(۱۴۵-۱۳۵-۱۲۶)	(۹۵-۸۵-۷۵)
۵	-	(۱۸۵-۱۸۰-۱۵۵)	(۱۶۰-۱۴۸-۱۴۲)	(۹۵-۸۵-۷۵)
۶	-	-	-	(۱۲۰-۱۱۰-۸۰)

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ٦. هزینه‌های سالیانه ماشین‌آلات

ماشین	M4	M3	M2	M1
۱	(۶۵-۷۵-۸۵)	(۷۵-۸۵-۹۵)	(۶۵-۸۵-۹۵)	(۴۵-۵۵-۶۰)
۲	(۹۰-۱۰۵-۱۲۰)	(۹۰-۹۵-۱۱۰)	(۹۵-۹۵-۱۱۰)	(۵۵-۶۴-۷۵)
۳	(۱۴۵-۱۶۵-۱۷۵)	(۱۰۵-۱۲۰-۱۴۰)	(۱۰۵-۱۱۰-۱۱۵)	(۶۰-۷۵-۸۰)
۴	(۱۷۰-۱۸۵-۲۰۰)	(۱۳۵-۱۵۰-۱۶۵)	(۱۲۶-۱۳۵-۱۴۵)	(۷۵-۸۵-۹۵)
۵	-	(۱۵۵-۱۷۵-۱۸۰)	(۱۴۲-۱۴۸-۱۶۰)	(۷۵-۸۵-۹۵)
۶	-	-	-	(۸۰-۱۱۰-۱۲۰)

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۷. درآمدهای سالیانه ماشین‌آلات

ماشین	M4	M3	M2	M1
۱	(۱۱۰۰-۱۱۰۰-۱۱۰۰)	(۱۱۰۰-۱۱۰۰-۱۱۰۰)	(۱۲۴۰-۱۳۵۰-۱۴۰۰)	(۱۵۸۰-۱۶۵۰-۱۷۵۰)
۲	(۱۲۰۰-۱۱۲۵۰-۱۳۰۰)	(۱۲۵۰-۱۲۷۰-۱۳۰۰)	(۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۵۰)	(۱۶۹۰-۱۷۹۰-۱۸۷۰)
۳	(۹۵۰-۱۱۰۰-۱۱۵۰)	(۱۱۳۰-۱۲۰۰-۱۲۵۰)	(۱۵۶۰-۱۶۷۰-۱۷۷۰)	(۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۵۰)
۴	(۷۸۰-۸۹۰-۹۵۰)	(۱۰۴۰-۱۱۰۰-۱۲۰۰)	(۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۶۰)	(۱۲۵۰-۱۳۵۰-۱۴۰۰)
۵	-	(۹۵۰-۱۰۵۰-۱۱۰۰)	(۱۱۰۰-۱۲۵۰۰-۱۳۰۰)	(۱۰۵۰-۱۱۵۰-۱۱۲۰
۶	-	-	-	(۱۰۵۰-۱۱۵۰-۱۱۲۰)

ماخذ: یافته‌های تحقیق

فرض می‌کنیم تصمیم‌گیرنده هدفش در مورد حداکثرکردن ارزش فعلی سرمایه‌گذاری برای مقادیر بیشتر از ۱۴۵۰۰ به‌طور کامل برآورده شده و برای مقادیر کمتر از ۸۵۰۰ این هدف اصلاً حاصل نخواهد شد. به‌عبارت دیگر تابع عضویت هدف به صورت زیر خواهد بود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

$$\mu_{\tilde{G}}\left(z^0(\alpha)\right)=\begin{cases}0 & if\ z\le 8500\\ \frac{x-8500}{6000} & decrising\ on\ G\le z\le \bar{G}\\ 1 & if\ z\ge \bar{-}14500\end{cases} \qquad (۳۲)$$

ابتدا ارزش فعلی خالص هر کدام از طرح‌ها را براساس آنچه که در مورد جریان نقدی تنزیل‌شده فازی ذکر شد، محاسبه می‌کنیم. در این، مثال این کار به کمک نرم افزار Matlab9 انجام گرفته و نتایج آن در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. ارزش فعلی خالص هر کدام از گزینه‌های

M4	M3	M2	M1
(۱۱۰۸-۲۷۶۷-۴۲۴۲)	(۹۴۳-۲۴۰۷-۳۹۲۰)	(۷۵۲-۱۷۸۰-۲۸۸۸)	(۴۸۲-۱۳۰۷-۲۱۱۷)

ماخذ: یافته‌های تحقیق

مقادیر محاسبه شده در این قسمت، ضرایب تابع هدف در مدل برنامه‌ریزی خطی فازی خواهند بود. در مرحله بعد محدودیت‌های مدل را براساس شرایطی که در مثال ذکر شده تشکیل می‌دهیم در نهایت به مدل برنامه‌ریزی خطی فازی زیر می‌رسیم: اکنون به حل مدل برنامه‌ریزی خطی فازی می‌پردازیم. ابتدا مدل برنامه‌ریزی خطی فازی را براساس رابطه ۳ و در سطح شدنی α، به یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح کامل تبدیل می‌کنیم(توجه داشته باشید که تعداد خرید از هر کدام از گزینه‌ها مقادیر صحیح می‌باشند). مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح حاصله به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned}
&Max\ \ 1303x_1+1804x_2+2419x_3+2792x_4;\\
s.t.\quad &[0.4\alpha+(1-\alpha)0.6]x_1+[0.7\alpha+(1-\alpha)0.9]x_2+[0.9\alpha+(1-\alpha)]x_3+\\
&[0.4\alpha+(1-\alpha)0.6]x_4\ge 3\times[0.35(1-\alpha)+0.65\alpha];\\
&[0.4\alpha+(1-\alpha)0.6]x_1+[0.7\alpha+(1-\alpha)0.9]x_2+[0.7\alpha+0.9(1-\alpha)]x_3+\\
&[0.7\alpha+(1-\alpha)0.9]x_4\ge 3\times[0.6(1-\alpha)+0.85\alpha];\\
&[0.7\alpha+(1-\alpha)0.9]x_1+[0.7\alpha+(1-\alpha)0.9]x_2+[0.9\alpha+1(1-\alpha)]x_3+\\
&[0.1\alpha+(1-\alpha)0.3]x_4\ge 3\times[0.85(1-\alpha)+\alpha];\\
&x_j\le My_j\ j=1,2,3,4\ ;\\
&y_2+y_3\le 1;\\
&1200x_1+1200x_2+1500x_3+1800x_4\le 7000;\\
&x_j\in\{0,1,\dots\};\ \ y_j\in\{0,1\}\ \ ,j=1,2,3,4
\end{aligned} \qquad (۳۳)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

$$
\begin{aligned}
&Max\ \ (482,1307,2117)x_1 + (754,1780,2888)x_2 + (943,2407,3920)x_3 + \\
&(1108,2767,4242)x_4; \\
&s.t\quad (0.3,0.5,0.7)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.8,1,1)x_3 + \ (0.3,0.5,0.7)x_4 \\
&\geq 3 \otimes (0.2,0.5,0.8); \\
&(0.3,0.5,0.7)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.6,0.8,1)x_3 + \ \ (0.6,0.8,1)x_4 \\
&\geq 3 \otimes (0.5,0.7,1); \\
&(0.6,0.8,1)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.8,1,1)x_3 + \ (0,0.2,0.4)x_4 \\
&\geq 3 \otimes (0.7,1,1); \\
&x_j \leq My_j\ j = 1,2,3,4\ ; \\
&y_2 + y_3 \leq 1; \\
&1200x_1 + 1200x_2 + 1500x_3 + 1800x_4 \leq 7000; \\
&x_j \in \{0,1,\ldots\};\ \ y_j \in \{0,1\}\ \ ,j = 1,2,3,4
\end{aligned}
$$

در مرحله بعد درجات‌شدنی بودن مختلف جواب، توسط تصمیم‌گیرنده مطابق آنچه که در ستون ۱ جدول ۱۳ آمده مشخص شده است. در هر سطح‌شدنی بودن، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح این مثال را به کمک نرم‌افزار Lingo12 حل شده و نتایج در ستون ۲ جدول ۱۳آورده شده است. به‌عنوان مثال در سطح شدنی بودن ۰/۶، جواب بهینه به‌صورت خرید سه واحد از ماشین ۳ و یک واحد از ماشین ۴ می‌باشد و خرید سایر ماشین‌ها در این سطح توصیه نمی‌شود. ستون سوم این جدول مقادیر تابع هدف بهینه متناظر با هر کدام از جواب‌ها شدنی در سطحα و$z^0(\alpha)$ را نشان می‌دهد و می‌توان آنرا مطابق رابطه ۵ در هر سطح شدنی محاسبه کرد.$k_{\tilde{G}}(z^0(a))$، درجه ارضای هدف فازی $\tilde{G}$ توسط راه‌حل شدنی در سطح α، براساس رابطه۷ محاسبه شده است. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد با افزایش α، درجه ارضاء هدف فازی تصمیم‌گیرنده، توسط آن راه‌حل کاهش می‌یابد (جدول ۹). ستون ۵ جدول $k_{\tilde{G}}(z^0(a))$ درجه عضویت راه‌حل شدنی در سطح α در مجموعه $\tilde{D}$ (مجموعه فازی متشکل از تابع هدف فازی و فضای شدنی محدودیت‌ها) را نشان می‌دهد. در این مثال به‌دلیل ویژگی‌های نسبتاً مشابه گزینه‌های مختلف مقادیر$k_{\tilde{G}}(z^0(a))$ بسیار به هم نزدیک است. براساس رابطه ۹ جوابی با بیشترین درجه عضویت در مجموعه $\tilde{D}$ ، به‌عنوان راه‌حل بهینه انتخاب خواهد شد. در این مثال این جواب متناظر با $\alpha = 1$ ، یعنی سطر آخر جدول ۹ می‌باشد. بنابراین خرید دو واحد از ماشین ۱ و سه واحد از ماشین ۳ به‌عنوان جواب بهینه این مثال توصیه می‌شود. با قرار دادن این جواب در محدودیت مربوط به سطوح دستیابی به اهداف، می‌توان میزان دستیابی به اهداف را در حالت بهینه بدست آورد. در جدول ۱۰ حداقل سطوح دستیابی به اهداف و سطح دستیابی به اهداف در جواب بهینه مشخص شده است. میزان هزینه‌های صرف شده برای خرید ماشین‌آلات ۶۹۰۰ واحد پولی و ارزش فعلی این سرمایه‌گذاری نیز (۱۵۹۹۴و۹۸۳۵ و۳۷۹۳) می‌باشد. توجه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

داشته باشید در حالیکه مقادیر $k_{\tilde{G}}(z^0(a))$ همواره با افزایش α کاهش می‌یابند (به توضیحات قسمت ۳ توجه کنید) اما مقادیر $\mu_{\tilde{D}}(x^0(\alpha_k))$ الزاماً با افزایش α ، افزایش نمی‌یابد و در این مثال خاص این امر تنها به دلیل ویژگی‌های ماشین‌آلات مختلف رخ داده است.

جدول ۹. جواب‌های شدنی در سطوح مختلف و ویژگی آنها

α	$x^0(\alpha)$	$z^0(\alpha)$	$K_{\tilde{G}}\ (z^0(\alpha))$	$\mu_{\tilde{D}}(x^0(\alpha_k))$
۰/۶	(۰ – ۰ / ۳ –۱)	(۳۹۳۸–۹۹۸۷–۱۶۲۸۶)	۰/۳۲۹	۰/۱۹۶۸
۰/۷	(۰ – ۰ / ۳ –۱)	(۳۹۳۸–۹۹۸۷–۱۶۲۸۶)	۰/۳۲۹	۰/۲۳۰۳
۰/۸	(۰ – ۰/۴ –۱)	(۴۱۲۶–۹۸۸۶–۱۶۰۷۶)	۰/۳۲۸	۰/۲۴۳
۰/۹	(۰ – ۰/۴ –۱)	((۴۱۲۶–۹۸۸۶–۱۶۰۷۶)	۰/۳۲۸	۰/۲۸۰
۱	(۲ – ۰/۳–۰)	(۳۷۹۳–۹۸۳۵–۱۵۹۹۴)	۰/۳۰۵	۰/۳۰۵

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۱۰. سطح دستیابی به اهداف در جواب بهینه و حداقل سطوح دستیابی مشخص شده

هدف	سطح دستیابی به اهداف	حداقل سطح دستیابی
SC1	(۳/۴–۴–۴/۴)	(۱/۲–۹۸۹/۳–۳/۷)
SC2	(۲/۴–۴/۴–۴/۴)	(۱/۲–۱/۹۸۹–۲/۹۷۹)
SC3	(۴–۴/۵–۶/۳)	(۰/۹–۱/۷۰۱–۲/۶۰۱)

ماخذ: یافته‌های تحقیق

۷. نکاتی در زمینه مدل پیشنهادی

در استفاده از مدل فوق باید نکات زیر را مورد توجه قرار داد:

۱- اندازه و تقاضای بازار تاثیر مستقیم در نوع و تعداد خرید ماشین‌آلات دارد و همواره باید این سوال در ذهن تصمیم‌گیرندگان باشد که آیا بازار مصرف، می‌تواند ظرفیت اضافی ناشی استفاده از تکنولوژی‌های جدید را جذب کند.

۲- روابط‌متقابل بین گزینه‌های مختلفی که خریداری می‌شوند باید به دقت مورد توجه قرار گیرد. ممکن است استفاده از یک نوع ماشین و یا تکنولوژی ویژه، نیاز به بهره‌برداری از ماشین‌آلات دیگری را الزامی کند.

۳- در تمام مقاله فرض شده است که تاثیر ماشین‌آلات در دستیابی‌به اهداف شرکت به صورت خطی است هر چند که می‌توان این مدل را براحتی در حالتی‌که تاثیر گزینه‌ها در دستیابی به اهداف شرکت به صورت غیرخطی باشد توسعه داد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

۸. نتیجه‌گیری

رشد فزاینده تقاضای مشتریان و افزایش رقابت، شرکت‌های تولیدی را به استفاده از ماشین‌آلات و تکنولوژی‌های پیشرفته تولید سوق داده است. سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید به دلیل ویژگی‌های متمایزی که با ماشین‌آلات سنتی تولید دارند غالباً با وسواس و دقت بیشتری پیگیری می‌شود. از طرف دیگر باتوجه به گستره وسیع این ماشین‌آلات که امروزه در دسترس می‌باشد و هزینه‌های زیاد خرید این نوع تجهیزات، تعیین نوع ماشین‌آلات مناسب و تعداد خرید از آنها برای یک تولیدکننده اهمیت زیادی دارد. در این مقاله به ارائه مدلی برای تعیین تعداد ماشین‌آلات تولیدی پرداختیم که علاوه‌بر در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت را نیز مدنظر قرار می‌دهد. هدف از مدل حاضر، حداکثر کردن ارزش فعلی سرمایه‌گذاری شرکت بر روی ماشین‌آلات پیشرفته است به‌طوریکه به حداقل سطوح تعیین شده اهداف استراتژیک خود دست پیدا کند.

منابع و مآخذ

اسکونژاد، محمدمهدی (۱۳۷۹)، اقتصاد مهندسی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر،صص ۳۵۵-۳۱۱.

زارع مهرجردی، یحیی؛ حسن رسایی و علی اکبر قاسمی گجوان(۱۳۸۹)، ارزیابی تکنولوژی‌های پیشرفته تولید با استفاده ازمدل ترکیبی برنامه‌ریزی احتمالی و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. مدیریت تولید و مهندسی صنایع ، ۲۱(۴)، ۱۱۸-۱۳۰.

Boyer, K.K., Ward, P.& Leong, G.K(1996), "Approaches to the factory of the future: An empirical taxonomy", Journal of Operations Management, vol. 14, pp.297-314.

Chang, T. H. & Wang T.Ch(2009), "Measuring the success possibility of implementing advanced manufacturing technology by utilizing the consistent fuzzy preference relations", Expert System with Applications, vol.36, pp. 4313-4320.

Chen, S.M(1995), "Investment justification of advanced manufacturing technology: an empirical analysis" Journal of Engineering and Technology Management, vol.12, pp. 27-55.

Chiu, C.Y. & Park, .S.C(1994), "Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion", The engineering economics, vol. 39(2), pp. 113-138.

Chu, S.J(2009), "Group decision-making model using fuzzy multiple attributes analysis for the evaluation of advanced manufacturing technology", Fuzzy Sets and Systems, vol. 160, pp. 586-602.

Duran, O. & Aguilo, J (2008), "Computer-aided machine-tool selection based on a fuzzy-AHP approach" Expert System with Application, vol. 34, pp. 1787-1794.

Jimenez.M, Arenas.M, Bilbao.A, Rodrıguez,M.V(2007)," Linear programming with fuzzy parameters': An interactive method resolution". Vol.177, pp.1599-1609.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]

Karsak, E.E. & Tolga, E. (2001), “Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investements”, International Journal of Production Economics, vol. 69, pp. 49-64.

Karsak, E.E. Kuzgunkaya, O.(2002), “A fuzzy multiple objective programming approach for selection of a flexible manufacturing system”, International Journal of Production Economics, vol. 79, pp. 101-111.

Lai, Y.-L., Hwang, C.-L(1994), “Fuzzy Multiple Objective Decision Making”, Springer-Verlag, Berlin-Heildelberg.

Ordoobadi S.M., & Mulvaney N.J(2001), “Development of a justification tool for advanced manufacturing technologies: system-wide benefits value analysis”, Journal of Engineering and Technology Management, vol.18, pp. 157-184.

Percival, J.C & Cozzarin, B.P. (2010), “Complementarities in the implementation of advanced manufacturing technologies” Journal of High Technology Management Research, vol 21, pp. 122-135.

Perego, A. &angone, A. (1998), “A reference framework for the application of MADM fuzzy technique to selection AMTS” International journal of production research, vol. 36(2), pp. 437-458.

Rommelfanger, H. & Slowinski, Rx(1994), “ Fuzzy linear programming with single or multiple objective functions”. In: Slowinski, R. (Ed.). Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operation Research and Statistics. Kuwler Academic Publishers, Boston.

Yurdakul, M. (2004), “Selection of computer-integrated manufacturing technologies using a combined analytic hierarchy process and goal programming model”, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 20, pp.329-340.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.9.5.9]